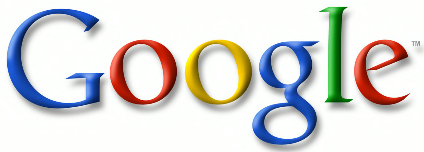




Boden-Bakterien und Boden-Fruchtbarkeit

von

Dr. F. Löhnis
Professor an der Universität Leipzig

Berlin
Verlag von Gebrüder Borntraeger
W 35 Schöneberger Ufer 12a
1914


SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
LVX
FIAT
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS

Boden-Bakterien
und
Boden-Fruchtbarkeit

von

Dr. F. Löhnis
Professor an der Universität Leipzig

Berlin
Verlag von Gebrüder Borntraeger
W 35 Schöneberger Ufer 12a
1914

Druck von E. Buchbinder (H. Duske) in Neuruppin.

Vorwort.

Die Tätigkeit der Erd-Organismen, in erster Linie diejenige der Boden-Bakterien, ist für die Fruchtbarkeit unserer Äcker von großer Bedeutung. Stallmist, Gründünger und alle anderen organischen Stoffe müssen erst zersetzt, mineralisiert werden, ehe sie den Nutzpflanzen zur Nahrung dienen können. Wären die Bakterien und Pilze des Bodens nicht ständig am Werk, er wäre längst erfüllt und bedeckt von unzersetzten organischen Resten. Jede Acker-Kultur wäre schlechthin unmöglich.

Daß eine gründliche Erforschung dieses Gebietes für die Wissenschaft wie für die Praxis gleich nutzbringend sein muß, ist außer Frage. In Frankreich, England und Amerika hat die Bakteriologie des Bodens seit langem den ihr gebührenden Platz gefunden. Deutschland blieb leider in dieser Hinsicht wesentlich zurück. In demselben Lande, in dem die Erkennung und die Bekämpfung der dem Menschen schädlichen Kleinlebewesen die größten Triumphe feiern konnten, fanden die Arbeiten über die weit wichtigeren nützlichen Bakterien und Pilze verhältnismäßig nur sehr geringe Unterstützung und Förderung. Soweit es überhaupt geschah, blieb man fast immer auf halbem Wege stehen. Nicht Wenigen ist dies zum Nachteil geworden. Und wer heute daran denkt, die Forschung auf landwirtschaftlich-bakteriologischem Gebiete sich zur Lebensaufgabe zu erwählen, tut gut, sich von vornherein eine Arbeitsstätte außerhalb der Grenzen des Deutschen Reiches zu suchen. Es müßte denn sein, daß seine finanzielle Lage es ihm erlaubt, um der Sache willen von allen persönlichen Gesichtspunkten abzusehen.

Einige wenige Fragen, vor allem die nach der Bedeutung der Stickstoffbindung im Boden sind allerdings gerade in Deutschland zeitweise lebhaft diskutiert worden. Vielen erschien und erscheint speziell diese eine Frage gewissermaßen als das A und O der Bakteriologie des Bodens. Allen Ernstes ist die Behauptung aufgestellt worden, die Fortschritte in der Herstellung künstlicher Stickstoff-Dünger bereiteten der Boden-Bakteriologie eine schwere Konkurrenz. Die Düngerfabrik als Ersatz der Wissenschaft! Das wäre in der Tat etwas ganz Neues. Solange es jedoch die Aufgabe der Wissenschaft bleibt, die Ursachen der Erscheinungen festzustellen, und das wird allezeit die Aufgabe der freien Forschung sein, solange werden auch Bodenbakteriologie und Düngerfabriken einander den Platz sicherlich nicht streitig machen.

Trotzdem alle prinzipiellen Gesichtspunkte in bezug auf die Stickstoffbindung im Boden längst hinreichend geklärt worden sind, hat man in Deutschland diese Frage teils zu hoch, teils zu niedrig eingeschätzt. Wie früher bei der Erörterung der Denitrifikations-Frage, so hätten auch hier die im Auslande durchgeführten einschlägigen Untersuchungen mit großem Nutzen Berücksichtigung finden können. Statt dessen beherrschten unzureichend begründete Ansichten und Meinungen das Feld; kein Wunder, daß sie bald nach dieser, bald nach jener Seite ins Extrem gerieten. Mit besonderem Nachdruck hat sich Prof. Th. Pfeiffer bemüht, die ganze Angelegenheit als praktisch völlig bedeutungslos hinzustellen. Aber auch hier waren es nicht exakte Forschungen, sondern allerhand mehr oder minder willkürliche Erwägungen und Annahmen, aus denen weitgehende Schlüsse gezogen worden sind. Daß diese nicht richtig waren, ist z. T. schon vor Jahren nachgewiesen worden. Gleichwohl werden sie immer von neuem wiederholt, und die entgegenstehenden Tatsachen werden mit Stillschweigen übergangen. Indessen liegt es mir durchaus fern, den von jenem Autor unternommenen Versuch zu wiederholen, den Leser von vornherein durch breite polemische Auseinandersetzungen in

bestimmter Richtung zu beeinflussen, ihm gewissermaßen Sand in die Augen zu streuen. Am Schlusse dieser Schrift werde ich sagen, wie ich über die gegen mich gerichteten Angriffe Pfeiffers denke. Wer sich dafür interessiert, mag die betreffenden Zeilen lesen.

Bei den Fragen nach der Bedeutung der verschiedenen Gruppen von Bodenbakterien handelt es sich um wichtigere Dinge als um Professoren-Streitigkeiten. Dem Leser an der Hand der vorliegenden Tatsachen einen möglichst klaren und umfassenden Überblick über das gesamte, hier in Betracht kommende Gebiet zu verschaffen, habe ich mir bei der Abfassung dieser Schrift zur Aufgabe gestellt. Einzelfragen, wie diejenige nach der Bedeutung der Stickstoff bindenden Boden-Bakterien, können meines Erachtens von einem solchen Standpunkte aus viel leichter in zutreffender Weise beantwortet werden, als wenn man sie für sich allein ins Auge faßt. In umfangreicheren Werken habe ich das gesamte, für die landwirtschaftliche Bakteriologie wichtige Material gesammelt und gesichtet[1]. Aber auch für den Landwirt, der kein Freund von dickleibigen Büchern ist, müssen diese Fragen von Interesse sein, handelt es sich doch um die Fruchtbarkeit seiner Felder. Unter diesem Gesichtspunkte die Bakteriologie des Bodens zu erörtern, ist um so reizvoller und lohnender, als sich dabei die Gelegenheit bietet, so manche Ansichten und Erfahrungen der Vergessenheit zu entreißen und von neuem nutzbar zu machen, die zum Teil schon vor recht langer Zeit von hervorragenden Praktikern niedergeschrieben worden sind. Wenn wir von der „Tätigkeit", der „Gare" des Bodens und anderen für dessen Fruchtbarkeit wichtigen Faktoren etwas mehr wissen wollen, als uns die modernen Lehrbücher hierüber mitzuteilen pflegen, tun wir gut, jene alten Werke wieder einmal zur Hand zu nehmen. Wir finden auf ihren vergilbten Blättern allerhand, was auch

[1]) Vorlesungen über landwirtschaftliche Bakteriologie (1913) und Handbuch der landwirtschaftlichen Bakteriologie (1910).

heute noch höchst lesens- und wissenswert ist. Und wenn wir uns ein recht klares Bild von der Bedeutung der Bakterien des Bodens für dessen Fruchtbarkeit verschaffen wollen, können wir kaum etwas Besseres tun, als auf jene alten Erfahrungen zurückzugreifen und mit ihnen das zu verknüpfen, was die neuere Forschung namentlich im Auslande seither zu Tage gefördert hat.

Sollten diese Darlegungen zugleich dahin wirken, daß der Bakteriologie endlich auch an den deutschen landwirtschaftlichen Instituten und Versuchsstationen der ihr gebührende Platz eingeräumt würde, so wäre das mehr, als ich zu hoffen wage.

Leipzig, Januar 1914.

Dr. F. Löhnis.

Inhalt.

Das Leben im Boden.

Erfahrene Landwirte waren sich seit langem darüber klar, daß die Erde ihrer Äcker und Wiesen keine tote, leblose Masse darstellt. Vom „Leben im Boden", von dessen „Tätigkeit" hat man seit alters her gesprochen. Daß die „tätige" Ackerkrume ganz andere Eigenschaften besitzt als der „tote" Untergrund, ist eine Tatsache, die sich deutlich zeigen mußte, sobald die Bodenkultur über die ersten primitiven Stufen hinausging. Wie zutreffend aber diese Bezeichnungen gewählt waren, das haben erst die bakteriologischen Forschungen der letzten Jahrzehnte erwiesen. Jetzt wissen wir, daß in der Tat die „tätige" Ackerkrume einer Unzahl kleiner und kleinster Organismen zur Wohnstätte dient, während im „toten" Untergrunde vor allem der Mangel an Luft, oft auch der Mangel an Nahrung dem Wirken dieser Lebewesen verhältnismäßig enge Grenzen zieht.

Die älteren Praktiker haben stets nachdrücklich betont, daß der Acker „gären", „abfaulen", „morschen" müsse, ehe er von neuem mit Vorteil bestellt werden könne. Daß aber alle Gärung, Fäulnis und Verwesung das Werk von Mikroorganismen ist, das hat bereits im Jahre 1837 Theodor Schwann mit aller Deutlichkeit erkannt. Und in demselben Jahre machte G. Chr. Ehrenberg auf das reichliche Vorkommen von niederen Tieren (Infusorien, Protozoën) in humusreicher Erde aufmerksam. Albert von Rosenberg-Lipinsky hat dann in seinem einst viel gelesenen „Praktischen Ackerbau" darauf hingewiesen, daß diese mikroskopisch kleinen und „noch Milliarden für uns unsichtbar vorhandene" Organismen, von deren „massenhaftem Vorhandensein nur die wenigsten Menschen eine Ahnung" hätten, an der Lockerung und Befruchtung des Bodens sehr

wesentlich mitwirken. Es erschien ihm „keineswegs unwahrscheinlich, daß diese unterirdische Tierwelt, und insonderheit die Infusorien, bei den sogenannten reichen Bodenarten sehr viel zu der hervorstechenden Fruchtbarkeit dieser Ländereien beitragen, weil jene Tierwelt dort ‚vorzugsweise die Bedingungen ihrer massenhaften Entwicklung und ihres Gedeihens vorfindet"[1]).

Seit Ende der 50er Jahre des vorigen Jahrhunderts lehrte Louis Pasteur die wichtigsten Gruppen der nützlichen Bakterien und Pilze kennen. Gärungsgewerbe und Milchwirtschaft haben auf der neu gewonnenen Grundlage erfolgreich weiter gebaut, dagegen fand leider die Erforschung des Lebens im Boden speziell in Deutschland auf lange Zeit hinaus so gut wie gar keine Förderung. Justus von Liebig setzte den Lehren Pasteurs lebhaftesten Widerstand entgegen. So überaus segensreich im übrigen das Wirken des großen Agrikultur-Chemikers nicht nur für die Landwirtschaft, sondern für die ganze Menschheit geworden ist, so bleibt doch leider die unbestreitbare Tatsache bestehen, daß Liebigs Gegnerschaft die Erförschung der Kleinlebewelt des Düngers und des Bodens ungemein beeinträchtigt und geschädigt hat. Die auch heute noch in Deutschland so weit verbreitete Unterschätzung dieser Fragen ist ein höchst unerfreuliches Erbstück aus jener Zeit.

Mehr Anklang fanden damals die neuen Ideen in den Kreisen der praktischen Landwirte. W. Kette, der sich um die Ausbreitung des Lupinenbaues die größten Verdienste erworben hat, veröffentlichte im Jahre 1862 eine kleine Schrift, betitelt: „Die Fermentations-Theorie gegenüber der Humus-, Mineral- und Stickstoff-Theorie". Darin hob er mit Recht hervor, daß die anderen Theorien lediglich die chemische Seite der Ernährung unserer Nutzpflanzen ins Auge fassen und daß sie z. B. für die eigenartige Wirkung einer Stallmist-Düngung, der „Bodengare", der „alten Kultur und Kraft des Bodens" keine Er-

---

[1]) A. v. Rosenberg-Lipinsky, Der praktische Ackerbau, 3. Aufl., 1869, Bd. 1, S. 230, Bd. 2, S. 29.

klärung zu liefern vermögen. Dies suche die Fermentations-Theorie zu tun. Die Forschungen Pasteurs seien imstande, jene praktischen Anschauungen über die Vorgänge im Acker und über den spezifischen Wert des Stallmistes wissenschaftlich zu begründen. — In den Kreisen der Praktiker muß diese Schrift viel Anklang gefunden haben, denn sie konnte schon 3 Jahre später in zweiter Auflage erscheinen. In der wissenschaftlichen Literatur blieb sie leider unbeachtet. Und das gleiche Schicksal ereilte einige Arbeiten, die schon zu jener, weit zurückliegenden Zeit den ziemlich sicheren Nachweis erbrachten, daß Bakterien die Leguminosen in den Stand setzen, den Boden an Stickstoff zu bereichern[1]).

In Frankreich und in England gelangten im Anschluß an die Forschungen Pasteurs zahlreiche Arbeiten zur Veröffentlichung, in denen die ursächliche Bedeutung der Mikroorganismen für die Ammoniakbildung, die Nitrifikation, die Denitrifikation, die Bindung des elementaren Stickstoffes und andere landwirtschaftlich wichtige Umsetzungen im Dünger und im Boden klar erwiesen wurde. E. Wollny versuchte diesen neuen Erkenntnissen in Deutschland Eingang zu verschaffen, abermals ohne Erfolg. Und als Schultz-Lupitz im Jahre 1881 auf Grund seiner praktischen Erfahrungen sich erneut mit aller Bestimmtheit dahin aussprach, daß die schmetterlingsblütigen Gewächse als „Stickstoffsammler" für den Landwirt von ganz besonderem Werte seien, da nahm man diesen Ausspruch nicht etwa als eine willkommene Bestätigung jener älteren Beobachtungen auf; die „Autoritäten" bemühten sich angelegentlichst, diese Ansicht als unrichtig zu erweisen. Namentlich veröffentlichte Professor Drechsler in Göttingen allerhand Berechnungen und Erwägungen, die Schultz-Lupitz gründlich widerlegen sollten[2]).

---

[1]) Einzelheiten hierüber finden sich in meinen „Vorlesungen über landw. Bakteriologie", S. 162 und in meinem „Handbuch der landw. Bakteriologie", S. 646.

[2]) Journal f. Landwirtschaft, 1883, S. 1—43, 163—183.

Aber schon 1886 wiesen Hellriegel und Wilfarth nach, daß der Praktiker im Rechte war, nicht der Theoretiker. Gleichwohl blieben auch ihre überaus klaren Befunde und Schlußfolgerungen nicht von ungerechtfertigter Kritik verschont. Noch 1889 schrieb Blomeyer[1]): Diese Theorie „mag diejenigen, die gern auf hochwissenschaftlichem Kothurn einhergehen und das Wunderbare vor allem lieben, begeistern; für uns mehr skeptisch angelegte Menschen dürfte indessen eine, wenn auch geringe Spur eines wirklichen Beweises mehr Reiz haben als diese in der Luft schwebende Hypothese".

In einer am 26. März 1897 im Deutschen Reichstage gehaltenen Rede trat Schultz-Lupitz für eine angemessene Förderung der Bakteriologie des Düngers und des Bodens energisch ein. Unter Hinweis auf den Vorsprung, den schon damals die ausländische Wissenschaft vor der deutschen voraus hatte, beantragte er die Errichtung einer „Reichsanstalt für Bakteriologie und Pflanzenschutz". Neben den auf die Erkennung und Bekämpfung der Pflanzenkrankheiten gerichteten Arbeiten sollten hier vor allem jene Forschungen gefördert werden, die sich auf die Umsetzungen des Stickstoffes im Dünger und im Boden beziehen. Es wurde betont, daß wir den alljährlich auf mehrere Hundert Millionen Mark zu beziffernden Schädigungen durch Stickstoff-Verluste und unvollkommene Ausnutzung des Dünger-Stickstoffs erst dann mit sicherer Aussicht auf Erfolg entgegentreten können, wenn wir über diese vorwiegend bakteriologischen Fragen gründlich unterrichtet sind. Durch die Errichtung der „Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft" hat jener Antrag formell seine Erfüllung gefunden. Leider wurden indessen jene höchst wichtigen Aufgaben in dieser Anstalt bisher nur zu einem verschwindend kleinen Teile in Angriff genommen. Seit Jahren erstrecken sich die dort ausgeführten bakteriologischen Untersuchungen fast allein auf die Infektionskrankheiten der Bienen.

---

[1]) Blomeyer, Die Kultur der Nutzpflanzen, Bd. 1, 1889, S. 318.

Die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft hat im Laufe des letzten Jahrzehntes sehr ansehnliche Beträge ausgegeben, die wohl zu beachtenswerten Fortschritten auf dem in Rede stehenden Gebiete hätten führen können. Leider waren diese Beträge zu einem sehr großen Teile für ganz bestimmte Untersuchungen reserviert, von denen nennenswerte Erfolge von vornherein kaum erwartet werden konnten. Bei der Erörterung der Brache-Frage werde ich dies näher zu begründen haben. Die außerdem verliehenen Stipendien, die merkwürdigerweise in erster Linie älteren Chemikern zugute kommen sollten, mußten schon, im Hinblick auf die relativ kurze Zeit, für die sie in der Regel zur Verfügung gestellt wurden, ebenfalls ohne sichtbaren Erfolg bleiben. In persönlicher Hinsicht sind sie zudem manchem entschieden von Nachteil geworden.

In neuester Zeit hat sich abermals ein praktischer Landwirt, der Klostergutsbesitzer Fritz Arndt in Oberwartha, lebhaft dafür eingesetzt, daß wir uns ernstlich mit dem Leben im Boden beschäftigen sollten. In einem in der Ökonomischen Gesellschaft im Königreiche Sachsen am 6. Dezember 1912 gehaltenen Vortrage über „Bodenhygiene und Gründüngung" führte er u. a. folgendes aus: Eine richtige „Bodenhygiene" d. h. eine dauernde Gesunderhaltung unserer Äcker ist nicht möglich ohne ein gesundes Bakterienleben. Ist dieses gestört, so wird der Boden krank und müde, die Erträge sinken und die Widerstandsfähigkeit der angebauten Nutzpflanzen geht zurück. Das Zusammenleben bestimmter Arten von Bakterien mit unseren Kulturgewächsen (Leguminosen wie Nichtleguminosen) ist von wesentlichem Einfluß auf deren Entwicklung. Das Bakterienleben im Acker und seine Hebung darf nicht vernachlässigt werden. Die Zukunft der deutschen Landwirtschaft wird zu einem guten Teile hierauf aufgebaut sein.

Durch ein halbes Jahrhundert hindurch haben die Praktiker — Kette, v. Rosenberg-Lipinsky, Schultz-Lupitz, Caron, Arndt — immer von neuem darauf hingewiesen, daß das Leben im Boden gründlich erforscht werden müsse, denn

die Fruchtbarkeit unserer Fluren hänge zu einem großen Teile von ihm ab. Seltsam genug! Die Praktiker erklären sich für die Theorie, die Mehrzahl der Theoretiker aber stand und steht ihr ablehnend gegenüber. —

Inwiefern das Leben im Boden dessen Eigenschaften, vor allem dessen Fruchtbarkeit, beeinflussen kann, wird weiterhin im einzelnen zu erörtern sein. Zunächst wollen wir uns darüber klar werden, wie reich es in Wirklichkeit ist.

Während in älteren Untersuchungen, die in landwirtschaftlichen Lehrbüchern auch heute noch oft zitiert werden, wiederholt festgestellt wurde, daß einige Hunderttausend oder eine bis einige Millionen Bakterien im Gramm Erde anzutreffen seien, hat es sich neuerdings herausgestellt, daß wenigstens in fruchtbaren Erden wohl immer viele (50—100 und mehr) Millionen pro Gramm vorhanden sind. Die Eiweißzersetzer und Harnstoffbakterien pflegen vorzuherrschen, doch sind auch die zur Stickstoffbindung befähigten Organismen noch recht häufig, während die Salpeterbildner an Zahl meist sehr zurücktreten. Z. B. konnten bei entsprechenden in meinem Laboratorium ausgeführten Untersuchungen in 1 g Gartenerde ermittelt werden:

75	Millionen Eiweißzersetzer,	2,5	Millionen Stickstoffassimilanten,
27,5	„ Harnstoffbakterien,	100 000	Salpeterbildner.

In etwa 10 cm Tiefe findet sich in der Regel der reichste Bestand. Je nach der Qualität des Untergrundes sinkt die Keimzahl dann mehr oder minder rasch aus Mangel an Luft oder (und) aus Mangel an Nahrung. Tiefgründige, humose Böden machen naturgemäß eine Ausnahme, namentlich wenn, wie in trockenen Gebieten, mäßige Feuchtigkeit eine ausgiebige Durchlüftung begünstigt. So hat man z. B. in kalifornischen Erden (in aridem Gebiet) ein reiches Bakterienleben bis in 1, ja bis in 3 m Tiefe beobachtet. 100 Millionen Bakterien pro Gramm Erde ergeben, auf das Hektar berechnet, ein recht ansehnliches Quantum an lebender Substanz. Setzt man das Gewicht der Ackerkrume (bis zu 25 cm Tiefe) = 4 Millionen kg und dasjenige von 1000 Millionen Bakterien = 1 mg, so

ergibt sich an lebender Bakterienmasse nicht weniger als 400 kg pro ha.

Daß in rohem, noch nicht in Kultur genommenem Lande, in nicht entwässertem Moor, in reinem Sande usw. nur relativ wenig Bakterien tätig sind, brauche ich wohl nicht erst durch zahlenmäßige Angaben nachzuweisen[1]). In sauren, humosen Böden verdrängen die Schimmelpilze die Bakterien mehr oder minder vollständig. Im Waldhumus sind sie ja oft schon mit bloßem Auge deutlich zu erkennen. Doch fehlen sie auch in der Ackererde niemals ganz, besonders an der Bildung und Zersetzung des Humus können sie hier lebhaften Anteil nehmen. Wie von ihnen, so sind auch von allerhand Algen, Kieselalgen usw. gewöhnlich einige Tausend, eventuell auch Hunderttausend im Gramm Ackererde vorhanden. Protozoën verschiedener Art gesellen sich hinzu, doch haben auch sie ihren bevorzugten Standort in feuchten, humusreichen Wiesen- und Waldböden. Außer von löslicher organischer Substanz nähren sie sich besonders von Bakterien. Sofern diese vorteilhaft auf die Fruchtbarkeit des Bodens einwirken, haben wir es also in den Protozoën mit Organismen zu tun, die für den Landwirt schädlich werden können. Das wird weiterhin näher zu erörtern sein. 10 000 oder 20 000 dieser Lebewesen kommen nicht selten in 1 g Ackererde vor, in humosen Böden steigt ihre Zahl auf 50 000, 100 000 und darüber.

Da die Pilze, Algen und Protozoën an Körpergröße die Bakterien meist recht erheblich (um das 5- bis 10-fache und mehr) übertreffen, so erklärt es sich, daß auch sie trotz ihrer geringeren Zahl recht ansehnliche Mengen (etwa 200—400 kg pro ha) an lebender Substanz repräsentieren.

Weiterhin kommen dann die gleichfalls nicht zu unterschätzenden Scharen von Würmern, Insekten und deren Larven sowie allerhand höhere Tiere in Betracht. Die Be-

[1]) Solche Zahlen finden sich in meinem Handbuch der landw. Bakteriologie, 1910, S. 512.

deutung der Regenwürmer für die Fruchtbarkeit des Bodens ist schon oft erörtert worden[1]), und wir werden ihrer auch noch mehrfach zu gedenken haben. V. Hensen veranschlagte die in 1 ha Landes lebende Wurmmasse auf 200—1000 kg. Die etwa für die anderen tierischen Boden-Bewohner einzusetzenden Zahlenwerte sind kaum einigermaßen genau zu bestimmen. Jedenfalls schwanken sie innerhalb sehr weiter Grenzen. Und bei nicht wenigen dieser Organismen überwiegt ja zudem der Schaden häufig den etwaigen Nutzen sehr erheblich, so daß wir von diesen Angehörigen der Boden-Fauna lieber möglichst wenig zu sehen wünschen.

Immerhin ergibt sich das überraschende Resultat, daß in einer 1 ha großen Ackerfläche insgesamt rund 10 Doppelzentner dieser kleinen und kleinsten Lebewesen vorhanden sind. 1 ha Land, das durch das auf ihm wachsende Futter 2 Tiere von je 10 Ztr. Lebendgewicht ernährt, nährt gleichzeitig dieselbe Gewichtsmenge an Bakterien, Pilzen, Protozoën, Würmern usw. Ein Unterschied ist allerdings insofern vorhanden, als speziell die tierischen Bodenbewohner wenigstens zum Teil große Massen anderer tierischer oder pflanzlicher Erdorganismen verzehren, so daß sich also an dem Abbau der organischen Stoffe im Boden hauptsächlich nur die Bakterien und die Pilze und dann besonders noch die Regenwürmer direkt beteiligen.

Es könnte so scheinen, als ob speziell die Bakterien wegen ihrer außerordentlichen Winzigkeit doch wohl kaum eine so große Rolle im Boden spielen können, wie mehrfach gesagt wurde. Soweit es sich um direkte Wirkungen physikalischer Art, also um das Durcharbeiten, Auflockern, Durchwühlen des Ackers handelt, sind ihnen zweifellos die größeren im Boden lebenden Tiere bei weitem überlegen. Indessen werde ich noch darzulegen haben, daß und weshalb doch auch die Bakterien sehr wesentlich auf die Struktur des Bodens einzuwirken imstande sind. Es

---

[1]) Vgl. z. B. die neueste zusammenfassende Besprechung dieser Fragen durch E. Reup in den Mitteilungen der D. L. G., 1913, S. 538, 552, 567.

ist ihre sehr große Leistungsfähigkeit in chemischer Hinsicht, die hier in Rechnung zu setzen ist. Diese aber steht in direktem Zusammenhange mit der geradezu unfaßbar geringen Größe dieser Organismen. 1000 Millionen Bakterien füllen, dicht aneinander gelagert, etwa den Raum eines Kubikmillimeters aus. Es läßt sich leicht berechnen, daß die gesamte Oberfläche dieser riesigen Zahl von Mikroben ungefähr 6000 qmm ausmacht, während sich für die rund 10mal größeren Protozoën, Algen usw., von denen rund 1 Million in 1 cmm Platz findet, nur rund 600 qmm ergibt[1]). Da für die chemische Leistung das Maß der wirkenden Oberfläche zu einem guten Teile ausschlaggebend ist, so folgt, daß die Bakterien den größeren Organismen gegenüber sehr im Vorteil sind. Es kommt hinzu, daß sie außerdem in vielen Fällen sehr kräftig wirkende Fermente (Enzyme) nach außen hin absondern, die namentlich für die Aufschließung unlöslicher organischer Substanzen (Cellulose, Pektin usw.) von größter Bedeutung sind. Handelt es sich um fruchtbare Erde, so würden wir jene 1000 Millionen Bakterien etwa in 10 g Boden vorfinden, oder mit anderen Worten: jedes Gramm Erde beherbergt in diesem Falle Bakterien, deren Gesamt-Oberfläche nicht weniger als 6 Quadratzentimetern entspricht. Berücksichtigen wir außerdem, daß sich bei entsprechenden Untersuchungen herausgestellt hat, daß 1 Gewichtsteil lebende Bakterien-Masse innerhalb weniger Stunden das Hundert- oder gar das Tausendfache des eignen Körpergewichts an Harnstoff, Zucker usw. umsetzen kann, so wird es, glaube ich, recht wohl verständlich, wieso diese äußerst winzigen Lebewesen so Großes in unseren Äckern, im lagernden Dünger, in Milch, in Käse und an zahlreichen anderen Stellen des landwirtschaftlichen Betriebes leisten können.

Dem Leben *auf* dem Boden entspricht also ein nicht minder reges Leben *im* Boden. *Oben* herrscht die *aufbauende*,

---

[1]) Vergl. die ausführliche Berechnung und Abbildung in meinen „Vorlesungen über landw. Bakteriologie", 1913, S. 20.

unten die abbauende Tätigkeit vor. Wie dort, so können hier die Organismen dem Landwirte erwünscht oder unerwünscht, nützlich oder schädlich sein. Das nützliche Wirken der Bodenbewohner kommt, allgemein gesprochen, in einer Erhöhung der Boden-Fruchtbarkeit zum Ausdruck. Damit wir aber diese Leistungen des Lebens im Boden richtig erkennen und einschätzen, müssen wir uns zunächst die Frage vorlegen:

Worauf beruht die Fruchtbarkeit des Bodens?

Die chemische Analyse gibt uns darüber Auskunft, wieviel Nährstoffe insgesamt bzw. in verschiedenen Graden der Löslichkeit im Boden vorhanden sind. Die bakteriologische Prüfung unterrichtet uns über Quantität und Qualität der vorhandenen Mikroorganismen. Mit Hilfe physikalischer Methoden können wir uns Anhaltspunkte verschaffen über die wasserfassende Kraft, die Durchlüftung, die Erwärmung und über andere physikalische Eigenschaften des Bodens. Es ist klar, daß keiner dieser drei Forschungszweige für sich allein uns in den Stand setzen kann, die Fruchtbarkeit eines Bodens richtig zu bestimmen. Denn die Fruchtbarkeit ist stets das Resultat zahlreicher chemischer, physikalischer und biologischer Faktoren, die alle gleichmäßig berücksichtigt werden müssen.

Die älteren landwirtschaftlichen Schriftsteller nannten sehr treffend den Gesamtvorrat an Pflanzennahrung den „Reichtum" des Bodens. Und unter der Bezeichnung „Tätigkeit" des Bodens wurden diejenigen Faktoren zusammengefaßt, die darauf hinwirken, daß der Boden-Reichtum nutzbar wird. Ein reicher schwerer Boden, dem es an der nötigen Tätigkeit fehlt, läßt ebenso an Fruchtbarkeit zu wünschen übrig, wie ein zwar tätiger, aber von Haus aus armer Sandboden. Den reichen Boden können wir durch Erhöhung seiner Tätigkeit fruchtbar machen, während auf dem armen Acker ohne entsprechende Düngung nichts zu erreichen ist.

Die chemische Analyse lehrt uns vornehmlich den Reichtum, die bakteriologische im Verein mit der physikalischen

hauptsächlich die Tätigkeit des Bodens kennen. Leider fehlt allen diesen Untersuchungs-Methoden noch recht viel an der wünschenswerten Vollkommenheit; in ihrer jetzigen Gestalt sind sie auch bei vereinter Anwendung nicht imstande, uns ein vollkommen einwandfreies und sicheres Urteil über die Fruchtbarkeit eines Feldes zu ermöglichen.

Vorläufig vermag uns somit nur der Anbau- und Düngungsversuch auf dem Felde selbst die gewünschte Antwort zu erteilen. Vollkommen einwandfrei und sicher ist aber auch diese leider nicht. Die Fruchtbarkeit eines Ackers ist ja schon an sich keineswegs immer die gleiche, insbesondere ist die Tätigkeit als Funktion des Lebens im Boden stets eine mehr oder minder schwankende Größe. Das kann naturgemäß gar nicht anders der Fall sein. Außerdem aber müssen wir auf dem Felde immer mit dem jeweiligen Einfluß der Jahreswitterung rechnen. Allerhand sonstige Zufälligkeiten können hinzutreten. Die Resultate zeigen infolgedessen auch bei sorgfältigster Anstellung und Erledigung der Versuche in den verschiedenen Jahren mehr oder minder große Abweichungen und Widersprüche. Die Gewinnung eines klaren Urteils über den Erfolg der geprüften Maßnahmen wird hierdurch außerordentlich erschwert, wenn nicht geradezu unmöglich gemacht.

Gegenwärtig steht zweifellos der Düngungs-Versuch etwas allzusehr im Vordergrunde des allgemeinen Interesses. Daß er von sehr großem Nutzen sein kann, wer wollte es bestreiten? Übertreibung ist aber in jedem Falle schädlich und so auch hier. Nicht vom Nährstoff-Vorrat und der Nährstoff-Zufuhr allein hängt die Fruchtbarkeit unserer Felder ab, wie man uns nur allzuoft glauben machen will. Ent- und Bewässerung, Bearbeitung, Pflege und Nutzung des Bodens, eine eventuelle Impfung oder eine partielle Sterilisation desselben verdienen zweifellos nicht minder unsere volle Aufmerksamkeit. Für die Erhaltung und die Steigerung der Ertragsfähigkeit unserer Felder sind sie von gleicher, wenn nicht von noch höherer Bedeutung als die Düngung.

Die Düngung wirkt, wenn auch nicht ausschließlich, so doch jedenfalls hauptsächlich auf die chemische Beschaffenheit des Bodens ein. Kalk, Stallmist und Gründüngung beeinflussen allerdings gleichzeitig den physikalischen und den biologischen Zustand des Ackers sehr wesentlich. Durch Änderung der Reaktion bzw. durch Zufuhr zersetzungsfähiger Substanz wirken sie alle drei indirekt auf das Leben im Boden ein. Außerdem aber kann der Ätzkalk bei reichlicher Verwendung eine deutliche Dezimierung des Mikrobenbestandes, also eine partielle Sterilisation des Bodens bewirken, während der Stallmist durch seinen eigenen Keimreichtum gewissermaßen als Impfstoff in Betracht zu ziehen ist.

Ent- und Bewässerung, Bearbeitung und Pflege des Bodens wirken in erster Linie auf dessen physikalischen Zustand modifizierend ein. Aber die Änderungen der Struktur, des Wassergehaltes, der Durchlüftung und der Durchwärmung der Ackererde sind nicht nur für die angebauten Nutzpflanzen von Bedeutung. Die Aufschließung des Nährstoff-Vorrates und die Einwirkungen auf das Leben im Boden, also die indirekten Änderungen der Boden-Fruchtbarkeit sind von nicht geringerer Bedeutung.

Auch die Nutzung des Feldes, der Anbau dieser oder jener Nutzpflanzen kann aus chemischen, physikalischen und biologischen Gründen die Fruchtbarkeit des Bodens vermindern oder erhöhen. Nährstoffe werden aufgenommen, der Acker kann an Stickstoff bereichert werden, die mechanische Beschaffenheit, der Wassergehalt und andere physikalische Eigenschaften des Feldes ändern sich, damit aber zugleich auch das Leben im Boden. Wie durch zahlreiche Untersuchungen erwiesen worden ist, treten keineswegs nur die Knöllchenbakterien mit den Leguminosen in ein engeres Gemeinschafts-Verhältnis. Bei allen unseren Kulturgewächsen sind solche Wechselbeziehungen zwischen den höheren und den niederen Pflanzen konstatiert worden. Z. B. sind die Salpeterbildner — bei im übrigen gleichen Bedingungen — im Boden ungleich tätig, je nach der Art der Pflanzen, die auf

dem Felde stehen. Dabei dürfen wir natürlich nicht nur an die Nutzpflanzen denken, auch die Wirkung der Unkräuter ist im Auge zu behalten. In der Tat wissen wir, daß z. B. das Überhandnehmen des Hederichs dadurch besonders nachteilig auf die Fruchtbarkeit und infolgedessen auf den Ertrag des betreffenden Feldes einwirkt, weil gerade diese Pflanze außerordentlich hemmend auf den Verlauf der Salpeterbildung im Boden einwirkt. Daß dieser heute im allgemeinen noch viel zu wenig gewürdigte Gesichtspunkt für die zweckmäßigste Wahl der Fruchtfolge mit Rücksicht auf eine möglichst hohe Ausnutzung der Boden-Fruchtbarkeit bedeutungsvoll werden kann und (früher oder später) werden wird, bedarf sicherlich keiner längeren Auseinandersetzung.

Eine Impfung der Saat oder des Bodens ist bisher mit leidlich sicherer Aussicht auf Erfolg nur beim Anbau von Leguminosen möglich. Bei den Nichtleguminosen ist man über das Versuchsstadium noch nicht recht hinausgekommen. Wir müssen abwarten, was die Zukunft bringen wird. Daß aber speziell die Impfung des Bodens mit stickstoffbindenden Bakterien eine Aufgabe darstellt, die eine rege Bearbeitung und Förderung vollauf verdient, ist außer Frage.

Bei fortgesetztem Anbau gewisser Pflanzen wird der Boden bekanntermaßen „müde“. In Weinbergen und in Treibhauskulturen tritt diese Erscheinung besonders deutlich hervor. Durch verstärkte Düngung ist eine solche „Müdigkeit“ nicht zu beheben. Nur das Leben im Boden ist gestört; die Bakterien-Tätigkeit ist gehemmt. Da diese „Müdigkeit“ auch durch Impfung übertragen werden kann, so ist kein Zweifel, daß es sich um ein Überhandnehmen schädlicher Organismen handelt. Speziell scheinen in solchen Fällen die bakterienfressenden Protozoën sich oft ungewöhnlich stark zu vermehren. Durch eine partielle Sterilisation des Bodens (mittels Schwefelkohlenstoffs, durch Einleiten von Dampf und dgl.) kann der hierdurch bedingten Minderung der Boden-Fruchtbarkeit abgeholfen werden, vorausgesetzt, daß der Wert der Kulturen die Anwendung dieser kost-

spieligen Maßnahmen gerechtfertigt erscheinen läßt. In anderen Fällen wird man durch Entwässerung, Bearbeitung, Wechsel in der Nutzung des Landes, eventuell auch durch Brachen das gleiche zu erreichen suchen. Statt wie dort auf direktem, erreicht man also hier auf indirektem Wege (durch Änderung der physikalischen Bedingungen) das Ziel, d. h. die Wiedererweckung des normalen Lebens im Boden.

Chemische, physikalische und biologische Vorgänge sind in fast allen Fällen aufs engste miteinander verknüpft. Leben und Tätigkeit der Erdorganismen sind einerseits abhängig von der chemischen und der physikalischen Beschaffenheit der Erde. Andererseits werden sie die Veranlassung zu mehr oder minder tiefgreifenden Änderungen der chemischen wie der physikalischen Verhältnisse. Ist in einem Boden in chemischer, physikalischer und biologischer Hinsicht der denkbar günstigste Zustand erreicht, so sagt der Praktiker, der Boden hat seine volle „Gare" erlangt. Die Gare ist bekanntermaßen das untrügliche Kennzeichen eines fruchtbaren Ackers. Weshalb dies so ist, ergibt sich in der Hauptsache aus dem bisher Gesagten. Immerhin dürfte es im Hinblick auf die heute noch so vielfach verkannte, aber gleichwohl sehr hohe Bedeutung, die den Bodenbakterien auch in diesem Falle beizumessen ist, gerechtfertigt sein, wenn wir das Zustandekommen und den Wert der Gare des Bodens etwas näher ins Auge fassen. Ehe wir dies tun, wird es indessen zweckmäßig sein, uns zunächst, so weit als nötig, mit dem Boden-Reichtum und mit der Boden-Tätigkeit zu befassen. Denn aus ihrem Zusammenwirken resultiert das, was wir Gare nennen.

Der Boden-Reichtum.

Seitdem Liebig der älteren „Humustheorie" seine „Mineraltheorie" gegenüber gestellt hat, wurde es mehr und mehr zur Gewohnheit, unter dem Begriff „Reichtum" eines Bodens allein oder doch fast ausschließlich dessen Gehalt an Stickstoff, an Kali, an Phosphorsäure, und an Kalk zu ver-

stehen. Der Humus, also das Gemisch der in Zersetzung begriffenen organischen Stoffe, wurde in der Regel nur wegen seiner physikalischen Wirkungen sowie als Nährstoffspeicher gewürdigt. Das war und ist jedoch eine Einseitigkeit, die heute entschieden nicht mehr zeitgemäß ist.

Gewiß können wir unsere Kulturgewächse im Vegetations-Gefäß lediglich mit Hilfe von Düngesalzen in einem gänzlich humusfreien Substrat zu völlig normaler Entwicklung bringen. Auf dem Felde gibt dagegen schon ein humusarmer Boden auch bei reichlicher mineralischer Düngung nur selten voll befriedigende Ernten. Neben der physikalischen Wirkung fehlt der spezifische Einfluß, den der Humus auf das Leben im Boden und hierdurch auf dessen Fruchtbarkeit ausübt. Entfernen wir auf armem Sandboden die etwas mit Humus angereicherte Ackerkrume, so läßt die Entwicklung der angebauten Gewächse fast ausnahmslos sehr viel zu wünschen übrig, auch wenn ihnen Düngesalze und Wasser in hinreichenden Mengen zur Verfügung gestellt werden.

Die Humusstoffe sind die Nahrungs- und die Kraftquelle für die Mehrzahl der Erd-Organismen. In dem Maße, in dem sie von diesen verarbeitet werden, gelangen ihre Bestandteile in eine Form, in der sie unseren Kulturgewächsen nutzbar werden.

Eine vollständige Mineralisierung ist nicht immer nötig. Durch eine größere Zahl älterer und neuerer Versuche ist erwiesen worden, daß wasserlösliche Humusstoffe von den grünen Pflanzen direkt aufgenommen und verwertet werden können. Ungleich wichtiger ist aber zweifellos der Humus als Lieferant der von den Nutzpflanzen benötigten Kohlensäure. In einigen Veröffentlichungen der neuesten Zeit wurde diese Tatsache als etwas bisher fast ganz Unbekanntes hingestellt. Indessen schrieb schon Albrecht Thaer vor nahezu 100 Jahren in seinen „Grundsätzen der rationellen Landwirtschaft“[1]):

[1]) 2. Band, 3. Hauptstück, § 111, Aufl. v. 1837, S. 129.

„Durch die Erzeugung von kohlensaurem Gas wirkt der Humus wahrscheinlich auf die Vegetation, auch vermittelst des Bodens, besonders wenn das Kraut der Pflanzen die Oberfläche stark bedeckt, und dadurch die zu schnelle Entweichung der mit entwickeltem kohlensauren Gas angefüllten Luftschicht hindert. Saussure fand, daß saftige halb vertrocknete Pflanzen sich augenscheinlich schneller erholten, wenn er sie auf Humus oder auf eine mit Humus angefüllte Erde legte, als wenn sie auf einer mageren feuchten Erde lagen."

Der aus einem reichen Boden aufsteigende Kohlensäure-Strom ist sicher nicht gering zu veranschlagen. Wie ich noch zu zeigen haben werde, entstehen aus dem Humus in guter Erde alljährlich etwa 5000—8000 kg Kohlensäure pro ha. Dem Volumen nach sind das 3000—5000 cbm, d. h. die pro ha und Jahr entwickelte Kohlensäuremenge ist so groß, daß sie die Fläche eines Hektars 30—50 cm hoch in geschlossener Lagerung bedecken würde, wenn dem nicht die ständige Verteilung in der Luft Abhilfe schüfe. Die von den Wurzeln der auf dem Felde wachsenden Pflanzen ausgeatmete Kohlensäure tritt noch hinzu. Auf humusarmem Lande kann diese sogar eine größere Rolle spielen als die Humus-Kohlensäure.[1]) Die Wichtigkeit der im Acker entstehenden Kohlensäure für das Pflanzenleben wird besonders deutlich, wenn wir uns daran erinnern, daß nach den Berechnungen von Saussure und Schleiden die durch die tierische und die menschliche Atmung, sowie durch die Verbrennung von Kohlen und Holz erzeugte Menge nur etwa $^1/_{10}$ des Bedarfes decken würde.

Der Humus als solcher, d. h. das bunte Gemisch der in Zersetzung begriffenen organischen Stoffe ist also sowohl in chemischer wie in physikalischer wie auch (und nicht zum wenigsten) in biologischer Hinsicht von großer Bedeutung. Richtig

---

[1]) Die Ergebnisse einiger Gefäßversuche sprechen scheinbar gegen die in Rede stehende Wirkung der Humus-Kohlensäure. Die viel stärkere Atmung der Wurzeln sowie der sehr erleichterte Zutritt der atmosphärischen Luft, bezw. der hierin enthaltenen Kohlensäure zu den in den Gefäßen wachsenden Pflanzen dürfen indessen bei derartigen Versuchen nicht übersehen werden.

verstanden, können die Sätze Thaers[1]) noch heute als zutreffend gelten: „Der Humus ist diejenige Substanz, welche den Pflanzen die Nahrung gibt. Die Kraft oder der Reichtum des Bodens hängt von ihm ab". Die sog. „alte Kraft" eines Bodens richtet sich zu einem guten Teil nach Menge und Art der vorhandenen Humus-Substanzen. Ebenso hat v. Rosenberg-Lipinsky noch heute vollkommen recht, wenn er sagt[2]):

„daß seit Jahrtausenden erfahrungsgemäß die Ertragsfähigkeit des Bodens mit der Abnahme jener organischen Rückstände sinkt, und daher der Landwirt unausgesetzt auf die Vermehrung des Humusgehaltes seines Kulturlandes Bedacht nehmen müsse,

daß auf einem Boden, dem es an organischen Rückständen gänzlich fehlt (toter Erde), unsere Kulturpflanzen im Großen niemals freudig gedeihen, und

daß überhaupt die sich selbst überlassene Natur, auf den Grasflächen und im Walde, in lebenden Bildern den besten Beweis führt, wie das Gedeihen auch der wilden Pflanzen in geradem Verhältnisse zu dem Humusgehalte des Bodens bis zu einer gewissen Grenze steht".

Ein Übermaß an Humus, namentlich wenn dieser saure Beschaffenheit aufweist, ist allerdings nur mit erheblicher Einschränkung als vorteilhaft anzusehen. Der „milde" Humus ist es, der dem Praktiker als besonders wertvoller Bestandteil der Ackererde gilt. Worin sein hoher Wert begründet ist, das kann im einzelnen allerdings heute noch nicht gesagt werden. Denn erst in den letzten Jahren dürfen wir ja endlich wieder einige Fortschritte auf dem Gebiete der Humusforschung in Deutschland verzeichnen, nachdem hier seit Liebigs Kampf gegen die „Humustheorie" ein halbes Jahrhundert hindurch so gut wie nichts in dieser Richtung getan worden ist. Wichtiger als die heute bei uns lebhaft ventilierte Frage, ob es sich im sauren Humus um die Wirkungen von Säuren oder um Kolloid-Wirkungen handelt, ist jedenfalls die Tatsache, daß es amerikanischen Forschern gelungen ist, eine sehr große Zahl

[1]) a. a. O. § 126, S. 142.

[2]) Der praktische Ackerbau, 3. Aufl., 1869, Bd. 1, S. 497.

verschiedener organischer Stoffe aus dem Boden zu isolieren und zu identifizieren. Etwa 2/3 der kohlenstoffhaltigen Substanz des Bodens ist jetzt hinsichtlich ihrer Zusammensetzung bekannt. Aber von noch weit größerer Tragweite ist jedenfalls die Entdeckung des Franzosen Maillard[1]), die ergab, daß durch die spontane Vereinigung von Amidosäuren und Kohlenhydraten rasch in der Wärme, langsam in der Kälte unter Abspaltung von Kohlensäure Humuskörper entstehen. Wir sind somit jetzt in den Stand gesetzt, die verschiedenen Humusstoffe synthetisch darzustellen und im einzelnen hinsichtlich ihres Verhaltens zu studieren.

Nicht minder wichtig scheinen uns aber auch solche, bisher leider gleichfalls fast gar nicht ins Auge gefaßte Versuche zu sein, bei denen wir bestimmte Stoffe unter bestimmten Bedingungen der Humusbildung überlassen, um dann den entstandenen Humus entsprechenden Prüfungen zu unterziehen. In Gemeinschaft mit H. H. Green konnte ich z. B. feststellen, daß der Humus, der während eines Zeitraums von 5 Monaten aus Stallmist, Gründünger, Torf und Stroh entstanden war, in sehr ungleichem Grade der Nitrifikation unterlag. Es wurden nämlich innerhalb von 5 Wochen aus dem (im Verhältnis von 1 : 10—20) mit Erde vermischten Humus an Salpeter (in % des Humus-Stickstoffes) gebildet:

Humus	aus Stallmist	aus Gründünger	aus Torf	aus Stroh
	11—16%	14—18%	3—4%	0

Vom frischen Stallmist-Stickstoff wurden dagegen nur 0,4, vom Gründünger-Stickstoff 27,5%, vom Torf-Stickstoff 2,8 und vom Stroh-Stickstoff ebenfalls 0% nitrifiziert.

---

[1]) Comptes rendus de l'Acad. Paris. T. 155, 1912, p. 66, 1554. Beiläufig bemerkt, ist es m. E. allerdings nicht zutreffend, wenn Maillard meint, die Humusbildung sei vom Luftzutritt unabhängig und sie vollziehe sich ohne Mitwirkung von Mikroorganismen. Bei gemäßigtem Luftzutritt verläuft die Humifikation entschieden am günstigsten und die Mitarbeit von Bakterien und Pilzen steht gleichfalls fest.

Auch an solchen Versuchen fehlt es noch sehr, die uns über Anhäufung und Abbau des organischen Kohlenstoffes im Boden genauer unterrichten. Derartige Untersuchungen sind in verschiedener Hinsicht von Wichtigkeit, und es ist zu bedauern, daß auch sie bisher nur in bescheidenstem Maße in Angriff genommen werden konnten[1]).

Soweit es sich nicht um einen von Haus aus sehr humusreichen Boden handelt, ist die Düngung mit organischen Stoffen (Stallmist, Gründüngung) von großer Bedeutung. Einen mäßigen Ersatz des alljährlich verbrauchten Humus liefern allerdings auch die Ernte-Rückstände. Aber Höchstleistungen kann man in diesem Falle nicht erwarten[2]).

Die Zersetzung des Humus schreitet in der Regel nicht in der Weise fort, daß Kohlenstoff und Stickstoff gleich schnell mineralisiert werden[3]). Der Kohlenstoff wird in der Regel merklich schneller abgebaut als der Stickstoff. Handelt es sich nicht um sehr alten, schwer zersetzlichen, sondern um solchen Humus, wie er bei regelmäßiger Düngung mit Stallmist oder Gründünger sich immer von neuem im Boden bildet, so kann der Abbau unter geeigneten Bedingungen recht

[1]) P. Ehrenberg und Th. Pfeiffer haben wiederholt behauptet, derartige Bestimmungen seien mit zu großen Fehlern behaftet, als daß aus ihnen zuverlässige Schlüsse gezogen werden könnten. Tatsächlich haben aber Lemmermann und seine Mitarbeiter gezeigt (Landw. Jahrb. Bd. 41, 1911, S. 238 ff.), daß sehr gut übereinstimmende Werte erhalten werden können. Vergl. hierzu das Schlußwort der vorliegenden Schrift.

[2]) Die Mengen an Trockensubstanz, die in den Ernterückständen enthalten sind, wird man im allgemeinen nicht viel höher als zu 800 bis 1500 kg pro ha ansetzen können. Oft werden allerdings weit stattlichere (auf 3000—10000 kg pro ha) lautende Zahlen zitiert, die vor längerer Zeit von Werner und Weiske ermittelt worden sind. Sie sind indessen mit anderen Befunden ganz unvereinbar (s. mein Handbuch d. landw. Bakt. 1910, S. 578) und wir brauchten, wenn sie richtig wären, überhaupt nicht an einen anderen Humusersatz zu denken.

[3]) Die einschlägige Literatur ist auf S. 563 und 565 meines Handbuches zusammengestellt.

lebhaft von statten gehen. Eine 5% des Kohlenstoffes ergreifende Humus-Zersetzung ist bei derartigen Versuchen mehrfach beobachtet worden. Nimmt man als mittleren Humusgehalt etwa 2% = 1% Kohlenstoff an, so ergibt sich, daß unter jener Voraussetzung in der Ackerkrumme von 1 ha Oberfläche (= 4 Millionen kg Erde) alljährlich nicht weniger als 4000 kg Humus = 2000 kg Kohlenstoff umgesetzt werden, die rund 7000 kg Kohlensäure liefern.

Von dem Humus-Stickstoff werden dagegen in derselben Zeit nur etwa 1—1½% in Salpeter verwandelt. Guter Ackerhumus enthält ca. 5% Stickstoff, jene Menge entspricht also ca. 40 bis 60 kg Salpeter-Stickstoff pro ha. Alter Humus wird demgemäß immer reicher an Stickstoff, aber leider auch immer schwerer zersetzlich, wie dies der sog. Schwarzerde-Humus vielleicht am deutlichsten zeigt. Neu entstandener Humus verhält sich entgegengesetzt. Je höher sein Stickstoffgehalt ist, umso lebhafter verläuft die Salpeterbildung. Z. B. besaßen die zu den oben angeführten Nitrifikations-Versuchen benutzten Humussorten folgenden Stickstoff-Gehalt: Humus aus Gründünger 4, aus Stallmist 3½, aus Torf 2¼ und aus Stroh 1⅓%. Dem entsprach die Rangordnung in bezug auf die Nitrifizierbarkeit des Humus-Stickstoffes.

Die ungleiche Zersetzlichkeit der kohlenstoff- und der stickstoffhaltigen Humusbestandteile ist insofern von besonderem Interesse, als sich hieraus erklärt, weshalb wir durch Zufuhr von Stallmist oder von Gründüngung, trotzdem deren Trockensubstanz nur etwa 2% Stickstoff aufweist, sowohl den Kohlenstoff- wie auch den Stickstoff-Vorrat im Boden konstant erhalten können.

Nehmen wir an, ein Acker enthielte 2% Humus. An zersetzungsfähigem Material wären dann pro ha vorhanden: 40000 kg Kohlenstoff und 4000 kg Stickstoff.

Werden vom Kohlenstoff alljährlich 5, vom Stickstoff 2% mineralisiert, so vermindert sich der Vorrat innerhalb 10 Jahren um rund 20000 kg Kohlenstoff und um 400 kg Stickstoff, d. h. es ist so, als ob 40000 kg Trockensubstanz mit einem Stickstoffgehalte von 1% umgesetzt

worden wären. Für den Ersatz sind neben Stallmist und Gründünger noch die Ernterückstände in Rechnung zu ziehen, die etwa $^1/_2$—1 % Stickstoff enthalten.

Findet keine Düngung mit organischen Substanzen statt, so muß der Humusgehalt notwendigerweise solange sinken, bis der in Form von Ernterückständen stattfindende Ersatz dem Abbau die Wage hält. Hinsichtlich des Kohlenstoffes wird das Gleichgewicht zwischen Verminderung und Ersatz nach einigen Jahrzehnten erreicht. In bezug auf den Stickstoff müßte dagegen die Abnahme (wegen des geringen Stickstoffgehaltes der Ernterückstände) sehr lange Zeit andauern, würde dem nicht durch andere Umstände (Düngung, Stickstoffbindung im Boden und Stickstoffzufuhr in den Niederschlägen) entgegen gearbeitet.

Wie sich die Verhältnisse in Wirklichkeit stellen, wenn jede Düngung mit organischen Stoffen, aber auch mit Stickstoff unterbleibt, lehren die einzigartigen Versuche in der von Lawes und Gilbert eingerichteten Versuchswirtschaft Rothamsted bei Harpenden in England.

Zahlreiche Teilstücke haben dort seit ca. 70 Jahren keinerlei organische Düngung erhalten. Sie waren lediglich auf den Ersatz durch die Ernterückstände und auf mineralische Düngung angewiesen. Soweit diese reichlich genug bemessen war, wurden ungefähr ebenso hohe Ernten erzielt wie bei Verwendung von Stallmist. Insofern stimmen die hier erhaltenen Resultate mit denen einiger viehlosen Wirtschaften überein, die, weil noch genügend Humus und Kalk im Boden vorhanden ist, ohne organische Düngung auskommen können. Nur bei den Rüben sind in Rothamsted die Stallmist-Parzellen fast immer deutlich überlegen.

Schon bevor das Land zu Versuchszwecken eingerichtet wurde, war es ziemlich erschöpft, von 1839 ab unterblieb dann zunächst jede Düngung. Im Laufe der 40er und 50er Jahre wurden die Versuche in Gang gebracht, die in der Hauptsache unverändert dauernd fortgeführt werden.

Von besonderem Interesse sind in bezug auf die Humusfrage zwei Teilstücke: Parzelle 2 und 3 des seit 1843 dauernd mit Weizen bestellten Broadbalk-Feldes. Parzelle 2 erhält alljährlich eine außerordentlich starke Stallmist-Düngung (35000 kg pro ha); Parzelle 3 ist seit 1839 ohne jede Düngung geblieben. Leider sind zu Beginn der Versuche Humus- und Stickstoffgehalt des Bodens nicht festgestellt worden. Im Jahre 1893, also nachdem die Parzellen 50 Jahre lang ungleich behandelt waren, enthielt[1])

	die ungedüngte Parzelle	die Stallmist-Parzelle
an Kohlenstoff	0,888 %	2,230 %
an Stickstoff	0,099 „	0,221 „

Der Stickstoffgehalt des Humus ist auf der ungedüngten Parzelle nur wenig höher als auf der gedüngten (ca. 5,6 : 4,95 %). Zugeführt wurden in Form von Stallmist etwa 4000 kg Kohlenstoff pro ha und Jahr, in 50 Jahren also die stattliche Summe von 200000 kg Kohlenstoff. Der in der Stallmist-Parzelle ermittelte Kohlenstoff-Vorrat entspricht einem Betrage von 89200 kg pro ha, derjenige des ungedüngten Teilstückes ist gleich 35520 kg pro ha, also um 53720 kg niedriger.

200000 kg Kohlenstoff sind im Dünger zugeführt worden; um 53720 kg war der Kohlenstoff-Vorrat in der Stallmistparzelle höher als in der ungedüngten. Ist dieser Betrag nun als Bereicherung des Bodens an Kohlenstoff anzusehen, oder wurde nur der Humusgehalt durch die Stallmist-Düngung konstant erhalten? Man könnte wohl zunächst geneigt sein, der zweiten Annahme die größere Wahrscheinlichkeit beizumessen. An sich liegt es ja auch durchaus innerhalb des Bereiches der Möglichkeit, daß die alljährlich zugeführten 4000 kg Kohlenstoff, wenn auch nicht innerhalb eines, so doch innerhalb einiger Jahre, vollständig mineralisiert worden sind, so daß sich im wesentlichen Zufuhr

[1]) A. D. Hall, The Book of the Rothamsted Experiments, 1905, p. 27.

und Abbau die Wage hielten. In der ungedüngten Parzelle hätte sich demgemäß der Kohlenstoff-Vorrat alljährlich um rund 1000 kg (= 2000 kg Humus) verringert. Gleichzeitig hätte aber der Stickstoffgehalt des Bodens, wenn unsere Annahme richtig wäre, pro Jahr und ha um nicht weniger als 98 kg abnehmen müssen. Das war nun sicherlich nicht der Fall, denn schon die erste Ernte im Jahre 1844 lieferte auf der ungedüngten Parzelle nur knapp 10 dz Körner pro ha, obwohl die Weizenerträge in dem betreffenden Jahre im allgemeinen den Durchschnitt weit überragten[1]). Im Mittel wurden an Körnern geerntet[2]):

berechnet pro ha in den Jahren	1844/51	1892/1901	1911
ohne Düngung	11,56 dz	8,27	8,40
mit Stallmist	18,82 „	26,42	23,65

Die Erträge auf der Stallmist-Parzelle sind also viel mehr gestiegen, als die Ernten auf dem ungedüngten Teilstück gesunken sind.

Aus alledem dürfen wir mit Sicherheit schließen, daß der in dem Felde zu Beginn des Versuches vorhandene Humus nur aus relativ schwer zersetzlichem Material bestanden und infolgedessen im Laufe der 50 Jahre nur eine geringe Verminderung erfahren hat. Die in A. D. Halls Bericht über die Rothamsteder Beobachtungen (S. 27) außerdem noch mitgeteilten Stickstoffzahlen für den Untergrund der beiden Parzellen stimmen sehr gut zu dieser Schlußfolgerung. Die überreiche Stallmist-Düngung hat also zu einer ansehnlichen Humus-Anhäufung geführt, der fortgesetzte Weizenbau ohne jede Düngung dagegen nur zu einer mäßigen Verringerung des Humusvorrates.

Rund 20—25 kg Stickstoff sind durch die Ernten an Korn und Stroh dem ungedüngten Teilstück alljährlich entzogen worden.

---

[1]) Hall, a. a. O. p. 32.

[2]) Die Zahlen sind nach den a. a. O. (p. 36) und im Jahresber. d. Vers. Stat. Rothamsted angegebenen Werten (Bushels pro acre) berechnet, unter Annahme eines Bushel-Gewichts von 60 lbs.

Danach hätte — wenn wir die ca. 5 kg Stickstoff, die dem Boden jährlich in den Niederschlägen zugeführt werden, sowie die im Saatgut enthaltenen Stickstoff-Quantitäten der Einfachheit halber gegen die Sickerverluste in den Drainwässern aufrechnen — der Stickstoffgehalt des Bodens bei Beginn der Versuche ca. 1,3% betragen müssen. Das scheint mir nicht sehr wahrscheinlich zu sein.

Daß es sich im vorliegenden Falle lediglich um ein Aufzehren des Nährstoffvorrates im Boden gehandelt haben soll, wie von Th. Pfeiffer u. a. behauptet wird, ist somit mindestens sehr fraglich. Ich neige mehr zu der Annahme, daß nebenbei die Stickstoff bindenden Bakterien und Pilze des Bodens unter Verwertung der in den Ernterückständen ihnen gebotenen Kohlenstoffquellen einen teilweisen Ersatz für den ausgeführten Stickstoff geschaffen haben, der allerdings wohl nicht höher als auf 10 kg pro ha und Jahr veranschlagt werden kann[1].

Daß das Sinken der Erträge nicht ausschließlich als ein Kennzeichen für die Verarmung des Bodens an Stickstoff angesehen werden darf, können wir mit aller Sicherheit daraus schließen, daß auf den mit Stickstoff, Kali und Phosphorsäure gedüngten Teilstücken ein ganz ähnlicher Rückgang der Ernten zu verzeichnen war[2]. „Weizenmüdigkeit", Humusmangel sowie eine bei solch einseitiger Kultur leicht mögliche Verschlechterung der Struktur des Bodens sind jedenfalls für

---

[1]) Vergl. die betreffenden Berechnungen in Fühlings landw. Zeitung, Bd. 58, 1909, S. 433. Dort wurden auch weitere Gründe angeführt, die gegen die Pfeiffersche Annahme sprechen.

[2]) Vergl. die Zahlen und Kurven in der soeben zitierten Arbeit (S. 432). Aus ihnen ist auch mit aller Deutlichkeit zu ersehen, daß der Abstand zwischen der ungedüngten und der nicht mit Stickstoff, aber mit Phosphorsäure usw. gedüngten Parzelle entgegen einer dahin lautenden Behauptung Pfeiffers in den letzten Jahrzehnten nicht ab-, sondern zugenommen hat, was ebenfalls für die Mitwirkung einer Stickstoffbindung im Boden spricht.

diese Depressionen mit verantwortlich zu machen. Nur auf dem alljährlich mit 35000 kg Stallmist (pro ha) gedüngten Teilstück und auf der regelmäßig (außer mit Phosphorsäure und Kali) mit 144 kg Stickstoff in Form von Ammonsulfat gedüngten Parzelle ist kein Rückgang der Erträge wahrzunehmen.

Mit analogen, auf einem anderen Schlage (Hoos-Feld) der Versuchswirtschaft Rothamsted durchgeführten Gerstedüngungs-Versuchen verhält es sich genau so wie mit den Weizen-Versuchen. Auch hier haben sich die Ernten nur auf der Jahr für Jahr mit Stallmist (35000 kg pro ha) gedüngten Parzelle 50 Jahre lang konstant erhalten. In allen anderen Fällen, also wiederum auch bei Stickstoffdüngung, sind sie gesunken und zwar innerhalb der angegebenen Zeit fast durchweg um rund 5 dz pro ha[1]). In letzter Zeit haben sich übrigens die auf die einseitige Nutzung des Feldes zurückzuführenden Depressionen der Erträge allgemein (auch auf der Stallmistparzelle) so stark geltend gemacht, daß das ganze Feld im Jahre 1912 gebracht werden mußte.

Zu klareren Anhaltspunkten in der uns beschäftigenden Frage kommen wir, wenn wir diejenigen Ernten ins Auge fassen, die auf den nacheinander mit verschiedenen Früchten bestellten Teilstücken des Agdell-Feldes in der Versuchswirtschaft Rothamsted innerhalb von 60 Jahren erzielt worden sind. Hier werden nacheinander gebaut: Rüben, Gerste, Klee oder Bohnen, Weizen. Auf der einen Hälfte des Feldes tritt an die Stelle des Leguminosen-Anbaues die Schwarzbrache. Stets steht ein dauernd nicht gedüngtes, ein nicht mit Stickstoff aber mit Phosphorsäure, Kali usw., sowie ein voll gedüngtes Teilstück zu Vergleichszwecken zur Verfügung. Wie vorteilhaft der Fruchtwechsel auf die Weizenerträge einwirkt, ersehen wir zunächst sehr deutlich daraus, daß im Jahre 1911 geerntet wurden:

---

1) A. Hall, a. a. O. p. 73.

Bushels pro acre[1]	Weizen nach Weizen (Broadbalk-Field)	Weizen nach Brache[2] (Hoos-Field)	Weizen nach Brache im Fruchtwechsel (Agdell-Field)
ohne Düngung	12,5	17,0	23,9
mit stickstofffreier Mineraldüngung	14,8	—	31,9

Noch interessanter sind in verschiedener Hinsicht die folgenden Resultate. Im Durchschnitt von je ca. 30 Jahren wurden die in Tabelle 1 wiedergegebenen Ergebnisse erzielt[3].

Tabelle

Ernten in dz pro ha		bei Schwarzbrache				
		Kohlrüben	Gerste		Weizen	
			Korn	Stroh	Korn	Stroh
ohne Düngung	1852—1883	36,71	17,55	21,62	20,05	35,68
	1884—1911	24,53	8,40	13,34	16,82	26,88
stickstofffreie Mineraldüngung	1852—1883	181,04	14,28	20,79	21,61	38,29
	1884—1911	220,26	8,12	12,42	20,23	35,66
Volldüngung	1852—1883	355,81	23,86	29,40	22,15	42,90
	1884—1911	502,00	11,82	17,25	21,84	38,58

[1]) Ich zitiere nach dem Rothamsteder Jahresbericht für 1911. Die Umrechnung in kg pro ha habe ich hier unterlassen, da es ja nur auf die Vergleichswerte ankommt.

[2]) Hier wechselt ständig Weizen und Brache.

[3]) Berücksichtigt wurden nur die Teilstücke, auf denen die Rüben abgeerntet (nicht wie im anderen Falle untergepflügt oder an Ort und Stelle verfüttert) wurden. Die Zahlen für 1852/83 sind nach Bieler (Die Rothamsteder Versuche, 1896, p. 152) wiedergegeben. Als Hektoliter-Gewicht wurden hier für Weizen 78, für Gerste 65 kg angenommen und zum Stroh die Spreu hinzugerechnet. Die Zahlen für die 2. Periode wurden berechnet nach Hall (a. a. O. p. 191) und Annual Report f. 1911. In diesem Falle wurden als Bushel-Gewicht für Weizen 60, für Gerste 50 lbs. angenommen. Beide Zahlen sind wahrscheinlich etwas zu niedrig. Der Einfachheit halber habe ich ferner nur die Kleeheu-Erträge (nicht auch die

Die bei (anorganischer) Volldüngung innerhalb der ersten 32 Jahre erzielten Erträge lassen klar erkennen, daß der Rothamsteder Boden keineswegs besonders reich an leicht aufnehmbarem Stickstoff war. In der zweiten 28jährigen Periode sanken die Gerstenernten auch hier trotz Stickstoffdüngung (158 kg Stickstoff wurden jedesmal zu den Rüben gegeben). Beide Befunde bestätigen bisher Gesagtes. Die stickstofffreie Düngung blieb in den ersten 30 Jahren auf die Getreideerträge so gut wie ohne

1.

bei Kleebau					
Kohlrüben	Gerste		Kleeheu	Weizen	
	Korn	Stroh		Korn	Stroh
24,63	18,98	23,47	32,32	17,97	31,39
9,04	7,39	13,89	11,92	16,69	25,86
173,66	14,28	21,52	66,05	20,05	34,17
264,30	10,92	16,27	52,58	25,60	43,68
364,59	24,77	30,80	94,12	22,93	42,56
457,57	16,24	23,54	52,92	25,40	39,95

Einfluß, weiterhin kam sie aber, besonders bei den Rüben, weniger stark beim Weizen, deutlich zur Geltung. Bis 1883 wurde nur Superphosphat, von 1884 ab auch Kali-, Natron- und Magnesiumsulfat gegeben. Daß dieser Wechsel in der Düngung nicht von ausschlaggebender Bedeutung war, lehrt ein Vergleich mit der dauernd vollgedüngten Parzelle, auf der die Rüben- und Weizenerträge sich ganz analog gestalteten. Der Einfluß von Schwarzbrache bzw. von Kleebau auf die

Bohnen-Erträge) in die Tabelle eingesetzt; die durch sie erzielten Stickstoff-Ernten sind im Durchschnitt bedeutend höher als beim Anbau von Bohnen.

Rüben- und Getreideernten ist in den ersten 30 Jahren gleich Null, in den zweiten 30 Jahren wirkt der Kleebau etwas günstiger.

Von besonderem Interesse ist zweifellos die Tatsache, daß die Mineralstoff-Parzelle trotz fehlender Stickstoffdüngung 60 Jahre hindurch recht ansehnliche Ernten geliefert hat. Auch auf derjenigen Hälfte des Feldes, auf der keine stickstoffsammelnden Pflanzen angebaut worden sind, standen die Erträge nicht viel zurück. gegenüber denen, die von der durch Klee- oder Bohnen-Anbau erzielten Bereicherung des Bodens an Stickstoff Nutzen ziehen konnten. Im Durchschnitt wurden durch eine Jahresernte dem Boden rund 30—40 kg Stickstoff entzogen. In 60 Jahren wäre demnach das Feld, wenn lediglich der Stickstoffabbau, nicht auch die Stickstoffbindung im Boden in Frage käme, um reichlich 2000 kg Stickstoff ärmer geworden. Der ursprüngliche Stickstoffgehalt des Bodens mag, wie aus den früheren Berechnungen hervorging, etwa 0,1 % gewesen sein. Mithin waren auf das Hektar berechnet in der Ackerkrume von ca. 25 cm Tiefe (= 4 Millionen kg Erde) anfangs rund 4000 kg Stickstoff vorhanden. Wäre jene Annahme richtig, so müßten wir folgern, daß es für die Produktivität eines Feldes ziemlich belanglos sei, wenn dessen Stickstoffgehalt sich auf die Hälfte vermindert habe. Sofern man den Tatsachen nicht direkt Gewalt antun will, kann man aus diesen Ergebnissen zweifellos nichts anderes schließen, als daß neben der Ausnutzung des bereits im Boden vorhandenen gewesenen Stickstoffes auch die Bindung des Luft-Stickstoffes durch Mikroorganismen mit in Rechnung gezogen werden muß.

Daß übrigens die relativ hohen Erträge auf der nicht mit Stickstoff gedüngten Parzelle bis in die letzte Zeit nahezu konstant geblieben sind, mögen noch die folgenden Ernte-Zahlen der Periode 1908/11 dartun[1]).

---

[1]) Jahresber. f. 1911, S. 14. Umrechnung wie vorher.

Ernten in dz pro ha	Kohlrüben	Gerste		Kleeheu	Weizen	
		Korn	Stroh		Korn	Stroh
bei Schwarzbrache	224,65	9,74	15,97	—	21,44	35,89
bei Kleebau	295,93	12,38	21,21	80,45	25,40	42,02

Wenn also beim dauernden Anbau von Weizen (auf dem Broadbalk-Felde) trotz viel geringeren Stickstoff-Verbrauches die Ernten ziemlich stark sanken, dagegen bei starker Stickstoff-Entnahme im Fruchtwechsel die Weizenerträge 60 Jahre hindurch so gut wie konstant geblieben und die Rübenernten sogar sehr erheblich gestiegen sind, so können wir nunmehr mit aller Bestimmtheit sagen, daß die Veranlassung zu jenem Rückgange nicht so sehr in einer Erschöpfung des Bodens an Stickstoff, als vielmehr in anderen Umständen zu suchen ist.

Liebig war bekanntlich der Ansicht, daß es durchaus verwerflich sei, den Nährstoffvorrat im Boden in größerem Umfange auszunutzen, als dem in der Düngung gegebenen Ersatze entspräche. Ausfuhr und Ersatz sollten einander stets die Wage halten, sofern das nicht geschehe, treibe der Landwirt „Raubbau“.

Mit vollstem Rechte sind schon seinerzeit kenntnisreiche Landwirte diesem Dogma entgegengetreten[1]). Und heute würde sich wohl nicht so leicht ein Landwirt finden lassen, der um jener übertriebenen Behauptung willen seine Felder, die vielleicht gar nicht kalibedürftig sind, trotzdem alljährlich reichlich mit Kalisalzen düngt. Nutzt er dagegen den in seinen Äckern vorhandenen und bei deren Ankauf von ihm bezahlten Nährstoffvorrat in vernünftiger Weise aus, so ist er zweifellos voll berechtigt, die wenig schmeichelhafte Anschuldigung, er treibe

[1]) Man vergleiche z. B. den brieflichen Meinungsaustausch zwischen Reuning und Liebig vom 28. Nov. 1858 bis 27. Febr. 1859 (Briefwechsel zwischen Liebig und Reuning. Herausgegeben 1884, S. 24—35), ferner v. Rosenberg-Lipinsky, Der prakt. Ackerbau, 3. Aufl. 1869, Bd. 2, S. 107—112: „Die ungenügende Ausnutzung ist keine Ersparung von Bodenkraft, sondern meist eine unverzeihliche Verschwendung.“ Und: „Die Gefahr einer zu umfangreichen Ausnutzung der Bodenkraft durch beschleunigten Umsatz des im Erdmagazine ruhenden Rohmaterials ist im allgemeinen viel weniger groß als die Gefahr einer ungenügenden Ausnutzung“.

„Raubbau“, energisch zurückzuweisen. Wo sich eine Düngung nicht bezahlt macht, ist sie nicht am Platze. Von „Raubbau“ kann hier nicht die Rede sein. Wirklicher „Raubbau“ mag dann vorkommen, wenn der Eigentümer eines von vornherein stark verschuldeten Gutes immer weiter in Vermögensverfall gerät und seine Äcker noch auf jede Weise auszubeuten sucht. In einem solchen Ausnahmefall mag jener tadelnde Ausdruck berechtigt sein, im übrigen ist er es sicherlich nicht[1]).

Um „Raubbau“ an Stickstoff soll es sich nach der Ansicht einiger Autoren stets dann handeln, wenn nicht durch die Düngung oder durch den Anbau stickstoffsammelnder Pflanzen für entsprechenden Ersatz gesorgt wird. Die so erzielten Ernten kämen lediglich auf Kosten eines von früheren Stallmist-Düngungen herrührenden Vorrates an Stickstoff im Boden zu stande. Sicherlich ist die Nachwirkung namentlich von starken Stallmist-Düngungen nicht zu unterschätzen. Aber kann man aus der Tatsache, daß eine 20 Jahre hindurch Jahr für Jahr wiederholte kräftige Stallmist-Düngung Jahrzehnte hindurch nachwirkt, ohne weiteres folgern, daß das gleiche auch für die meist viel schwächeren Düngungen gilt, wie sie namentlich in früheren Zeiten üblich waren und z. T. auch heute noch üblich sind? Meines Erachtens ist dies nicht zulässig. Und wenn ein Feld, wie das Agdell-Feld von Rothamsted, trotzdem es von vornherein durchaus nicht abnorm reich an Humus und an Stickstoff war, doch noch, nachdem es mehr als 60 Jahre hindurch keinerlei Stickstoff-Düngung erhalten hat, ebenso hohe Ernten liefert wie zu Beginn des Versuches, so glaube ich jedenfalls nicht, daß dies für eine weitgehende „Ausraubung“ des Bodens an Stickstoff spricht[2]). Vielmehr muß meiner An-

---

[1]) S. auch meine Ausführungen über den sog. „Raubbau“ in der Deutschen landw. Presse 1904, S. 817.

[2]) Pfeiffer nimmt an, daß die Erträge in Rothamsted infolge des (von ihm behaupteten) Stickstoff-Raubbaues jährlich um etwa 1 % sinken müßten. Danach dürften sie also jetzt nur noch knapp halb so hoch sein, wie sie in Wirklichkeit sind.

sicht nach auch hier mit der Stickstoffbindung im Boden gerechnet werden, über die im nächsten Abschnitt näher zu sprechen sein wird.

Man hat der Lehre vom „Raubbau" dadurch besonderen Nachdruck zu verleihen gesucht, daß man die Behauptung aufstellte, das Sinken der Ernten erfolge so allmählich, daß der Landwirt über die „ganz bedenklichen Folgeerscheinungen" des „Raubbaues" erst sehr spät zur richtigen Einsicht kommen könne, und es sei dann erst nach längerer Zeit möglich, die frühere Ertragsfähigkeit des Feldes wieder herzustellen. Das Beobachtungs- und Urteilsvermögen der Praktiker scheint man mir dabei allerdings sehr erheblich unterschätzt zu haben. Aber selbst angenommen, der Boden sei stark „ausgeraubt" worden, wäre das wirklich so überaus bedenklich? Zweifellos nicht! Ein einigermaßen erfahrener Landwirt ist sehr wohl imstande, einen etwaigen Rückgang der Erträge infolge ungenügenden Nährstoffersatzes innerhalb weniger Jahre vollständig auszugleichen[1]). Und da man nicht nur in Rothamsted, sondern, wie im nächsten Abschnitt noch zu erörtern sein wird, auch an verschiedenen anderen Orten die Erfahrung machen konnte, daß sich trotz fehlender oder sehr gering bemessener Stickstoffdüngung

[1]) Auf dem Broadbalk-Felde in Rothamsted sind solche Versuche ebenfalls angestellt worden. Auch hier ist in kürzester Zeit die volle Ertragsfähigkeit wieder erreicht worden und zwar, was sonst nicht leicht möglich ist, sogar ohne Zuhilfenahme von Stallmist. Th. Pfeiffer hat diese völlig klar erwiesene Tatsache dadurch umzustoßen versucht, daß er verschiedene Perioden miteinander verglich. Im Anfang (1852—1863), als das betreffende Feld noch voll gedüngt wurde, waren die Erträge etwas höher, als zu der Zeit (1884—1893), in der man nach 20-jähriger Pause zur vollen Düngung zurückkehrte. Ich habe schon an anderen Stellen (Deutsche landw. Presse 1904, S. 817 und Mitteilungen des landw. Instituts Breslau, Bd. 4, 1907, S. 43) gezeigt, daß dieser Vergleichsmodus unzulässig ist und irreführend wirkt. Hier mag nur noch ergänzend darauf hingewiesen sein, daß auch die Stickstoff-Düngung 1854—1863 doppelt so hoch war, als die nach 1883 gegebene. Das ist, wie andere Versuche auf demselben Felde lehren, gleichfalls von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

dauernd gleichbleibende Ernten einstellten, so wird man umso weniger auf entsprechende Versuche zu verzichten brauchen, als sich eine etwa gewünschte Steigerung der Produktivität des Bodens durch verstärkte Düngung unschwer herbeiführen läßt.

Mit dem Ersatze der durch die Ernten dem Boden entzogenen Mengen an Phosphorsäure, an Kali und an Kalk verhält es sich in doppelter Hinsicht anders als mit der Rückerstattung des ausgeführten Stickstoffs. Die Stickstoffbindung macht den Ersatz zum Teil überflüssig. Dagegen müssen Phosphorsäure, Kali und Kalk stets dann in der Düngung zugeführt werden, wenn der Boden nicht genug von diesen Stoffen den Nutzpflanzen in leicht aufnehmbarer Form zur Verfügung stellen kann. Da aber diese Stoffe im allgemeinen wesentlich billiger zu beschaffen sind als der Stickstoff, so ist hier eine etwaige zu weitgehende Befolgung der „Ersatztheorie“ wirtschaftlich entschieden viel weniger nachteilig, als dies bei der Stickstoffdüngung der Fall sein muß.

Die von A. E. Mitscherlich neuerdings vorgeschlagene Art der Bodenanalyse wird es vielleicht möglich machen, den Vorrat an aufnehmbaren Mineralstoffen im Boden so genau zu bestimmen, daß dann mit genügender Sicherheit auf Grund des Analysen-Ausfalles entschieden werden kann, ob und eventuell in welchem Umfange eine Düngung mit Phosphorsäure oder mit Kali auf dem betreffenden Felde von Nutzen sein wird. Einstweilen sind wir allerdings noch durchaus auf den Feld-Düngungsversuch angewiesen, wenn wir zu einem zuverlässigen Einblick kommen wollen. Aber auch später, wenn uns die chemische Analyse bessere Aufschlüsse über den Nährstoffvorrat im Boden geben wird, als dies heute möglich ist, werden wir auf den Feldversuch nicht ganz verzichten können. Wird außerdem noch durch entsprechende Berechnungen Ausfuhr und Ersatz der Pflanzen-Nährstoffe, wenigstens soweit als dies eben möglich ist, annähernd kontrolliert, so dürfen wir sicher sein, den Reichtum unseres Bodens in der richtigsten Weise aus-

zunutzen, d. h. so, daß wir nicht lediglich auf einen möglichst hohen Rohertrag hinarbeiten, sondern daß wir uns den höchsten Reinertrag zu sichern suchen.

Die Boden-Tätigkeit.

Die älteren landwirtschaftlichen Schriftsteller haben bereits mit vollem Rechte darauf hingewiesen, daß nicht allein der Reichtum des Bodens oder die Düngung an sich über die Fruchtbarkeit eines Feldes entscheiden. Die „Tätigkeit" des Bodens, die in ihm verlaufenden Gärungen oder Umsetzungen sind gleichfalls von wesentlicher Bedeutung[1]). Wir wissen, daß diese „Tätigkeit" sowohl auf rein chemischen, wie auf physikalischen, wie auf biologischen Vorgängen beruht.

Von chemischen Faktoren sind es namentlich der Kalk sowie die (vornehmlich durch niedere und höhere Organismen im Boden erzeugte) Kohlensäure, die mannigfache Umsetzungen und Zersetzungen im Boden auslösen.

Physikalische Einflüsse machen sich besonders geltend beim Durchfrieren des Bodens, bei dessen Bearbeitung, bei der Ent- und Bewässerung. Ferner wirkt bekanntermaßen die Einverleibung organischer Substanzen teils direkt, teils indirekt (durch Humus-Bildung und -Zersetzung) modifizierend auf die Struktur des Bodens ein. Tierische und pflanzliche Boden-Bewohner können in derselben Richtung tätig sein.

Außerdem üben aber, wie schon kurz angedeutet worden ist, die niederen Pflanzen und Tiere mannigfache spezifische Wirkungen im Boden aus, die für dessen Fruchtbarkeit, bezw. für den Erfolg einer Düngung sehr oft von ausschlaggebender Bedeutung sind.

---

[1]) J. v. Kirchbach, Handbuch f. Landwirte, 4. Aufl., 1853, Bd. 2, S. 567, 569; Mulder, Die Chemie der Ackerkrume, übers. von J. Müller, 1863, Bd. 1, S. 308, Bd. 2, S. 49ff.; v. Rosenberg-Lipinsky, Der praktische Ackerbau, 3. Aufl., 1869, Bd. 1, S. 321.

Ein sehr großer, nicht selten der größte Teil der in einer Wirtschaft zur Verwendung gelangenden Düngemittel bringt nicht direkt Nährstoffe für die anzubauenden Kulturgewächse in den Boden, sondern er dient zunächst den Bakterien und Pilzen des Bodens zur Erhaltung ihres Lebens; erst ihre Stoffwechselprodukte sind es, die von den Nutzpflanzen verwertet werden können. Vor allem haben wir hier an die großen Massen von Stallmist und Gründünger zu denken, die von den Erdorganismen weitgehend zersetzt und verarbeitet werden müssen, ehe die in ihnen enthaltenen Stoffe von neuem den Kulturgewächsen zur Nahrung dienen können. Mit den organischen Düngemitteln des Handels (Fleischmehl, Hornmehl, Guano usw.) verhält es sich ebenso. Das Calciumcyanamid muß nach erfolgter Umwandlung in Harnstoff erst durch Bakterien ammonifiziert und nitrifiziert werden, um zu voller Wirkung zu gelangen. — Direkt aufnehmbar sind nur der Salpeter, das Ammoniak (das aber in der Regel auch erst der Nitrifikation unterliegt), sowie die mineralischen phosphor-, kalk- und kalihaltigen Düngemittel. Doch können auch diese Stoffe durch Mikroben des Bodens angegriffen und dadurch den höheren Pflanzen zum Teil entzogen werden.

Die nicht selten wahrnehmbaren großen Ungleichheiten in der Wirkung aller derjenigen Düngemittel, die erst der Verarbeitung durch die Erdorganismen bedürfen, sind vornehmlich darin begründet, daß deren Tätigkeit in verschiedener Weise zur Geltung kam. Leider ist es ja gegenwärtig, besonders nach dem Vorgange von Paul Wagner, selbst bei solchen Düngungsversuchen, die wissenschaftlichen Wert für sich in Anspruch nehmen, nur allzu sehr üblich geworden, die mehr oder minder weit differierenden Resultate einfach zu addieren und aus diesem Zufallsergebnis durch Division eine sogenannte „Normalzahl“ einen „wissenschaftlichen Durchschnittswert“ für das betreffende Düngemittel zu errechnen. Tatsächlich haben aber derartige Rechnungen für die Wissenschaft, d. h. für die Erkenntnis der Ursachen der ungleichen Wirkungen so gut wie

gar keine Bedeutung. Schon vor langer Zeit hat Justus von Liebig[1]) darauf hingewiesen, daß es sich bei den „Verhältnissen“ und „Umständen“, die das Ergebnis bald in dieser, bald in jener Richtung beeinflussen, um Naturgesetze handelt, die zu erforschen eben die Aufgabe der Wissenschaft ist. Deshalb kann auch erst dann von einer wissenschaftlichen Düngungslehre gesprochen werden, wenn man in weit größerem Umfange als bisher dazu übergehen wird, diejenigen Bedingungen zu erforschen, unter deren Einfluß die oft so überaus abweichenden Ergebnisse von Düngungsversuchen zustande kommen. Die Tätigkeit des Bodens und speziell Art und Umfang der Bakterientätigkeit im Boden erfordern hierbei vollste Beachtung. Die Praxis darf von der Wissenschaft verlangen, daß diese ihr genaue Auskunft darüber gibt, weshalb ein Düngemittel das einemal sehr günstig, ein andermal nur wenig befriedigend wirkt. Höchstleistungen werden naturgemäß auch dann durchaus nicht immer zu erzielen sein. Aber wir würden doch wenigstens über die maßgebenden „Umstände“ und „Verhältnisse“ zur Klarheit kommen und wir könnten sie uns, soweit dies irgend möglich ist, zu nutze machen.

Das Wagnersche System der „Normalwerte“ und „wissenschaftlichen Durchschnittszahlen“ ist eigentlich nur für den Düngerhandel von Nutzen. Dagegen kann (oder sollte) sich der Praktiker doch nimmermehr damit zufrieden geben, daß man ihm z. B. sagt, die „Normalzahl“ für die Ausnutzung des Stallmist-Stickstoffes ist 25, während in Wirklichkeit die betreffenden Werte zwischen 5 und mehr als 50 % schwanken. Eine gleichstarke Stallmist-Düngung bringt dem einen Landwirt einen Gewinn von 500, einem andern aber einen solchen von 5000 M. Ich glaube nicht, daß jener damit zufrieden sein wird, wenn man ihn darauf hinweist, daß er nach dem Wagnerschen Normalwerte einen Gewinn von 2500 M. hätte haben sollen.

[1]) Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur usw., 7. Aufl., 1862, Bd. 1, S. 12.

Noch mehr als im Boden, sind es im Stalldünger die Kohlenstoffverbindungen, die Entwicklung und Wirken der Bakterien und Pilze und damit den Umsatz von Stickstoff, Phosphorsäure und Kali weitgehend beeinflussen. Und gerade hier stehen wir wieder vor einem noch so gut wie gar nicht in Angriff genommenen Gebiet. Wie groß der Einfluß ist, den die während der Düngerrotte stattfindenden Veränderungen der organischen Bestandteile des Stallmistes auf dessen Verhalten im Boden, speziell auf seine Stickstoffwirkung ausüben, das mag durch einige wenige, von J. H. Smith in meinem Laboratorium ermittelte Befunde veranschaulicht sein[1]).

Durch Vermischung von frischem Kuhkot, von gehäckseltem Stroh und von frischem Rinderharn wurde ein möglichst gleichartiges Düngergemisch hergestellt, das dann in einzelnen Portionen unter möglichst vollständiger Fernhaltung der Luft verschieden lange bei Zimmertemperatur aufbewahrt wurde. Kleinere Mengen der gerotteten Düngerproben wurden nach Ablauf der bestimmten Zeiten mit Erde vermischt und in dieser nach 6 Wochen die aus dem Stallmist-Stickstoff entstandenen Salpetermengen ermittelt. In Prozenten des im Dünger zugeführten Gesamt-Stickstoffs wurden gefunden:

Dauer der Düngerrotte	0	1	2	4	6	8	10	12	Wochen
Salpeter-Stickstoff . .	4	17	41	58	30	32	25	20	

Trotz ursprünglich ganz gleichartiger Beschaffenheit des Materiales waren hier also nur infolge ungleich langer Rottung ebenso weite Differenzen im Stickstoff-Umsatz zu konstatieren, wie sie sich bei Düngungs-Versuchen mehrfach herausgestellt haben. Daß in praxi natürlich nicht Art und Dauer der Rotte allein den Erfolg bestimmt, brauche ich wohl nicht besonders zu betonen. Nur zur Illustrierung des soeben Gesagten sollte dieses eine Beispiel dienen.

Die Ausnutzung des Gründüngungs-Stickstoffes läßt bekanntermaßen ebenfalls nur allzu oft recht viel zu wünschen übrig. Auch hier bedarf es noch eingehender, den bakteriologischen Gesichtspunkten Rechnung tragender Forschungen, ehe wir in der Lage sein werden, mit Sicherheit auf einen möglichst befriedigenden Erfolg hinzuarbeiten.

---

[1]) Einen zusammenfassenden Bericht über diese Untersuchungen veröffentlichte ich in Fühlings landw. Zeitung, 1914, Heft 5.

Der Umsatz des Kohlenstoffes ist, wie gesagt, für die Umwandlung und damit für die Wirkung der organischen Düngemittel von sehr großer Bedeutung. Das gleiche gilt aber auch, wie ich bereits hervorhob, für die sonstige Tätigkeit der Erdorganismen. Quantität und Qualität der vorhandenen Kohlenstoff-Verbindungen entscheiden in weitem Umfange über Art und Intensität der im Boden stattfindenden Umsetzungen. Daß der Humus durch seine physikalischen Wirkungen auf das Leben im Boden vorteilhaft einwirken kann, liegt auf der Hand. Innerhalb gewisser Grenzen besteht ein Parallelismus wie zwischen Humusgehalt und Reichtum, so auch zwischen Humusgehalt und Tätigkeit des Bodens. Die Humusstoffe können sich selbst in verschiedenen Richtungen (durch absorbierende, reduzierende Wirkungen usw.) an dem Stoffwechsel im Boden beteiligen. Ebenso wirken sowohl bei ihrer Bildung wie bei ihrer Zerlegung allerhand rein chemische Vorgänge mit. Immerhin bleibt den niederen Pflanzen und Tieren noch recht viel zu tun übrig.

Der milde, fruchtbare Humus besteht zu einem großen Teile aus den Exkrementen der tierischen Bodenbewohner. Diese zerkleinern und verteilen die organischen Reste im Boden und arbeiten so den Pilzen und Bakterien aufs wirksamste vor[1]). In humusarmem Sande fehlt es fast ganz an Regenwürmern usw.; je mehr Gründünger und Stallmist zugeführt wird, umso reicher wird das tierische Leben im Boden. Außerdem aber lassen auch allerhand Pilze und Bakterien aus den verschiedensten organischen Verbindungen braun bis schwarz gefärbte Substanzen entstehen, die den natürlichen Humusstoffen zuzurechnen sind. Daß ohne Mitwirkung von Mikroorganismen kein Humus entsteht, ist übrigens schon vor mehr als 70 Jahren durch Liebig erwiesen worden[2]). Zusatz antiseptisch wirkender Stoffe verhinderte die Humusbildung.

[1]) Ch. Darwin (Die Bildung der Ackererde durch die Tätigkeit der Regenwürmer, übers. v. V. Carus, 2. Aufl., 1899, S. 93) berechnete allein die Menge der Regenwurm-Exkremente auf 4400 kg pro ha und Jahr.

[2]) Die organische Chemie usw., 4. Aufl., 1842, S. 44.

Mit der Zersetzung der Humusstoffe verhält es sich ganz ähnlich, wie denn eine scharfe Trennung zwischen Humus-Bildung und -Zersetzung überhaupt nicht möglich ist. Von der z. T. sehr ungleichen Zersetzlichkeit dieser Substanzen sprach ich bereits. Jedem Landwirte ist es bekannt, wie ungemein widerstandsfähig z. B. jene torfartigen Brocken sind, die sich in wenig tätigen Böden bei zu tiefem Unterpflügen des Stallmistes bilden. Andrerseits wissen wir, daß nach den Ermittlungen verschiedener Forscher von dem milden Humus in fruchtbarer Acker- und Gartenerde nicht selten 4000 kg pro ha und Jahr vollständig abgebaut werden. In Form von Stallmist, Gründünger und Ernterückständen werden, wenigstens bei intensiver Wirtschaftsweise, gleichgroße oder noch größere Mengen an organischem Material dem Boden immer wieder von neuem einverleibt. Der hier stattfindende lebhafte Kohlenstoff-Umsatz bedingt es, daß die Bodenluft in fruchtbarem Lande relativ reich an Kohlensäure ist. Dies ist einerseits für die Aufschließung der mineralischen Bodenbestandteile, andrerseits für die Entwicklung der auf dem Felde wachsenden Nutzpflanzen von nicht geringer Bedeutung. Die atmosphärische Luft enthält nur etwa 0,04 Volum-Prozente Kohlensäure. In der Bodenluft finden sich nicht selten ½—7 Volum-Prozente[1]). Der Höchstwert (21,76 %) wurde einmal in Brachland ermittelt[2]).

Außer von der Quantität und der Qualität der vorhandenen Humussubstanzen ist die **Kohlensäure-Bildung** im Boden abhängig von dessen Durchlüftung, von dem Gehalt an Feuchtigkeit und von der herrschenden Temperatur. Nahrung, Luft, Feuchtigkeit und Wärme sind wie überall so auch für das Leben im Boden von bestimmendem Einfluß. In welchem Grade diese Faktoren einwirken, lehren uns die folgenden Untersuchungs-Ergebnisse.

---

[1]) Ebermayer, Forschungen der Agrikultur-Physik, Bd. 13, 1890, S. 48.

[2]) Wollny, Forschungen der Agrikultur-Physik, Bd. 3, 1880, S. 8.

Wollny[1]) ermittelte den Kohlensäure-Gehalt in der Bodenluft einer Komposterde, die in relativ trockenem sowie in feuchtem Zustande bei verschiedenen Temperaturen aufbewahrt wurde. Es ergaben sich die nachstehenden Befunde (in Volum-Prozenten):

Wassergehalt der Erde:	Temperatur der Erde: 10° C	20° C	30° C
6,8 %	0,2	0,3	0,7
26,8 „	1,8	5,4	6,4.

Stoklasa[2]) bestimmte, welche Mengen an Kohlensäure (in mg) bei 20° C innerhalb von 24 Stunden aus verschiedenen gleichmäßig durchfeuchteten Erden entwickelt wurden. Das Resultat war folgendes:

	Tonboden	Weideland	Lehmboden	Kleefeld	Alluviallehm	Rübenfeld
Kohlenstoff-Gehalt .	1,68 %	1,98 %	2,12 %	2,04 %	1,73 %	2,33 %
Luft-Kapazität. . .	0,6 „	5,8 „	7,3 „	10,3 „	18,2 „	23,7 „
gebildete Kohlensäure	8,2 mg	16,5 mg	14,6 mg	38,6 mg	36,6 mg	47,5 mg

Trotz ziemlich gleichmäßigen Kohlenstoff-Gehaltes der geprüften Erden ergaben sich also sehr weite Differenzen in bezug auf die Kohlensäure-Bildung, deren Abhängigkeit von der Durchlüftung der verschiedenen Erden aufs deutlichste hervortritt.

Die regelmäßige Anwendung von Stallmist oder von Gründünger in Verbindung mit einer rationellen Regelung der Durchlüftung und der Durchfeuchtung des Erdreiches sind diejenigen Hilfsmittel, die uns vor allem in den Stand setzen, das Leben im Boden zu möglichst weitgehender nützlicher Entfaltung kommen zu lassen. Da bei dem Abbau der organischen Stoffe neben Kohlensäure auch noch verschiedene andere Säuren entstehen und die meisten Bakterien gegen eine saure Reaktion des Substrates sehr empfindlich sind, so ist weiterhin der Kalk für die Erhaltung und Erhöhung der Tätigkeit des Bodens von prinzipieller Bedeutung.

Für den Verlauf der Stickstoff-Umsetzungen im Boden sind Art und Menge der vorhandenen Kohlenstoff-Verbindungen hauptsächlich in folgenden Richtungen von Wichtigkeit. Große Mengen leicht zersetzlicher organischer

[1]) a. a. O., Bd. 4, 1881, S. 14.

[2]) Zentralbl. f. Bakteriologie, Abt. II, Bd. 29, 1911, S. 404; Zeitschr. f. d. landw. Versuchswesen in Österreich, Bd. 14, 1911, S. 1267.

Substanzen hindern oder erschweren die Mineralisierung des Stickstoffes. Etwa bereits vorhandenes Ammoniak oder Nitrat wird in diesem Falle durch Bakterien und Pilze assimiliert, also in Körper-Eiweiß verwandelt; bei Luftabschluß kann es auch zur Denitrifikation kommen, d. h. zu einer Abspaltung von freiem Stickstoff aus dem Salpeter. Normalerweise haben wir es jedoch in unseren Böden nicht mit derartigen Massen leicht zersetzlicher Stoffe zu tun, daß diese unerwünschten Prozesse großen Schaden anrichten könnten. Eine starke Gründüngung kann vorübergehend in dieser Richtung wirken, ebenso eine starke Stallmistdüngung dann, wenn der Dünger zuvor nicht die nötige Rotte durchgemacht hatte. Das sind indessen Ausnahmefälle. Für gewöhnlich düngen wir nicht so stark, daß wir nachteilige Wirkungen hiervon zu befürchten hätten. Die schwerer zersetzlichen Humusstoffe lassen jene Umsetzungen nur in relativ geringem Umfange zu stande kommen. Die erwünschte Überführung des organischen Stickstoffes in Ammoniak und dessen Umwandlung in Nitrat treten in diesem Falle weitaus in den Vordergrund. Wenn man vom sauren, rohen Moor absieht, hat es sich immer wieder herausgestellt, daß die Intensität der Nitrifikation im Boden in der Hauptsache parallel läuft mit dessen Humusgehalt. Auch diese Tatsache weist darauf hin, daß und weshalb es ganz richtig war, wenn die älteren Landwirte im Humusreichtum des Bodens einen ungefähren Anhalt für dessen Fruchtbarkeit sahen.

In geringem Grade macht sich die soeben erwähnte Ammon-Assimilation allerdings in allen Böden geltend, die einigen Vorrat an organischen Stoffen aufzuweisen haben. Sie ist eine der Ursachen, weshalb das schwefelsaure Ammoniak bei vergleichenden Düngungsversuchen, wenigstens soweit die sofortige Wirkung in Frage kommt, von dem Salpeter oft übertroffen wird[1]). Derjenige (nicht selten 10—20 % betragende)

[1]) Näheres hierüber wie über die anderen Ursachen dieser Differenzen findet sich in einer in Fühlings landw. Zeitung, Bd. 57, 1908, S. 385 von mir veröffentlichten Abhandlung.

Stickstoff-Anteil, der zunächst der Assimilation anheimfällt, ist natürlich nicht verloren, aber er muß wie der übrige organische Stickstoff erst wieder mineralisiert werden und das kann sich kürzere oder längere Zeit hinausziehen.

Der Salpeter ist weniger leicht assimilierbar und deshalb kommt er in der Regel vollständiger zur Wirkung. Zur eigentlichen Denitrifikation, also zu der mit Stickstoffverlusten verknüpften Salpeter-Zersetzung, die längere Zeit hindurch von einigen Agrikulturchemikern unter der Führung Paul Wagners den deutschen Landwirten als Schreckbild vorgeführt wurde, kommt es nur bei weitgehendem Luftabschluß[1]). In mit Wasser durchtränktem Moor- und Sumpfland würde die Denitrifikation dann sehr lebhaft einsetzen, wenn jemand auf den Einfall käme, solche Böden mit Salpeter zu düngen. In der Ackererde kann es zur gleichen Erscheinung nur dann kommen, wenn auf einem schweren nitratreichen Boden große Mengen Stallmist oder Gründünger untergepflügt werden und nachfolgende, anhaltende Regengüsse den Acker vollkommen mit Wasser sättigen. Das sind indessen Ausnahmefälle, die nicht verallgemeinert werden dürfen[2]).

Die Ammoniakbildung wird durch reichlichen Luftzutritt entschieden gefördert. Daher kommen in der Regel die organischen Düngemittel des Handels (Fleischmehl, Hornmehl usw.) auf leichten Böden zu besserer Wirkung als auf schweren.

---

[1]) Die von A. E. Mitscherlich wiederholt (Bodenkunde, 2. Aufl. 1913, S. 206 u. a.) geäußerte Frage, ob die Denitrifikation nicht auch bei reichlichem Luftzutritt einen großen Umfang annehmen könne, ist bereits seit mehr als 30 Jahren in verneinendem Sinne beantwortet worden.

[2]) Naturgemäß kann auch aus Versuchen im kleinen, in denen durch Verwendung abnorm großer Mengen von Stroh und infolge weitgehender Durchtränkung der Erde mit Wasser alle Bedingungen zum Zustandekommen der Denitrifikation künstlich geschaffen sind, keineswegs geschlossen werden, daß diesem Vorgange eine größere praktische Bedeutung beizumessen sei, wie das neuerdings seitens Th. Pfeiffer geschah. Vergl. hierzu das Schlußwort der vorliegenden Schrift.

Umgekehrt verhält es sich gewöhnlich mit dem Calciumcyanamid (dem sog. Kalkstickstoff). Das steht indessen nicht mit der Ammoniakbildung an sich, sondern damit in Zusammenhang, daß das Cyanamid, ehe der darin enthaltene Stickstoff von den Bakterien in Ammoniak und weiterhin in Salpeter übergeführt werden kann, sich zunächst unter der Einwirkung organischer und anorganischer Bodenbestandteile in Harnstoff verwandeln muß. Da der Sand meist relativ wenig von diesen (kolloiden) Bestandteilen enthält, so können hier die Bakterien nicht in erwünschter Weise zur Tätigkeit kommen. Auf dem Moore liegt die Sache gerade entgegengesetzt, sofern es sich nicht um durch längere Kultur mit Bakterien angereichertes Land handelt. Die Harnstoffbildung ist kaum verzögert, aber es fehlt nicht selten an ammoniak- und salpeterbildenden Bakterien. Infolgedessen muß die Wirkung ungenügend bleiben. Vermischt man den Dünger mit humus- und bakterienreichem Kompost, so kommt man in beiden Fällen zu günstigeren Ergebnissen.

Für die salpeterbildenden Bakterien ist eine ausgiebige Durchlüftung des Bodens nicht so wichtig wie gewöhnlich geglaubt wird. Auch bei ziemlich beschränktem Sauerstoff-Zutritt verläuft die Nitrifikation noch recht lebhaft, nur darf es dabei nicht an Feuchtigkeit fehlen. Daß im Brachlande die Sapeterbildung in der Regel viel stärker hervortritt als im bestellten Acker, hat zu einem großen Teile seinen Grund darin, daß das Brachland meist wesentlich feuchter ist. Erhöht man die Feuchtigkeit des mit Pflanzen bestandenen Bodens durch Bewässerung, so kann man in ihm eine gleich lebhaftes, mitunter sogar (infolge spezifischer fördernder Einwirkungen der Pflanzen selbst) sogar eine noch stärkere Nitrifikation hervorrufen als im gebrachten Acker[1]).

[1]) Der Nutzen der Nitrifikation ist von einigen Autoren zu Unrecht in Abrede gestellt worden. Vgl. hierzu mein „Handbuch der landw. Bakteriologie" 1610, S. 902.

Die Bindung des elementaren Stickstoffes und damit die Bereicherung des Landes an organischen Stickstoffverbindungen kann bekanntermaßen in zweierlei Weise zu stande kommen: erstens dank der Tätigkeit der in den Wurzelknöllchen der Leguminosen und einiger anderen Pflanzen vegetierenden Bakterien, zweitens durch frei im Boden lebende Stickstoff fixierende Organismen. Wie bei der Fabrikation stickstoffhaltiger Düngemittel (Kalksalpeter, Calciumcyanamid) große Energiemengen zur Bindung des Luftstickstoffes erforderlich sind, so verbrauchen auch die stickstoffbindenden Bakterien und Pilze verhältnismäßig sehr bedeutende Quantitäten organischer Kohlenstoffverbindungen (Zucker, Stärke usw.). Bei deren Veratmung gewinnen sie die zur Bindung des elementaren Stickstoffs benötigte Energie. Zahlreiche Versuche haben gelehrt, daß die frei lebenden Formen auf je 100 Teile verbrauchter organischer Substanz gewöhnlich rund 1 Teil Stickstoff assimilieren. Mitunter gehen sie allerdings mit dem Kohlenstoff auch weniger verschwenderisch um. Doch wurde andererseits jenes an sich schon sehr weite Verhältnis durchaus nicht immer erreicht. Welche Relationen für die in den Knöllchen tätigen Bakterien Geltung haben, ist vorläufig unbekannt. Die sehr hohen Stickstoffernten, die wir beim Anbau stickstoffsammelnder Gewächse machen können, lehren aber bereits, daß hier den Bakterien besonders günstige Bedingungen dargeboten sein müssen. Bei vergleichenden Experimenten hat sich mehrfach herausgestellt, daß durch Ansaat von Leguminosen etwa 5—10 mal so große Stickstoffgewinne erzielt werden konnten, als wenn lediglich die Stickstoffbindung im Boden in Frage kam. Ein normaler Bestand an Schmetterlingsblütlern liefert eine Stickstoffernte von ca. 100—200 kg pro ha. Die stickstoffbindenden Erdorganismen sind ausschließlich auf die organischen Substanzen angewiesen, die sie im Boden vorfinden. Ist der Kohlenstoffumsatz lebhaft, so können, wie gesagt, 4000 kg Humus pro ha und Jahr abgebaut werden. Stehen dagegen in der Hauptsache allein die Ernterückstände zur Verfügung, so handelt es sich

nur um etwa 1000 kg. Im besten Falle, d. h. wenn diese Stoffe fast ausschließlich von den stickstoffbindenden Mikroben ausgenutzt würden, wäre demnach auf Stickstoffgewinne von 10—40 kg pro ha und Jahr zu rechnen. Doch wird namentlich die obere Zahl nur selten erreicht werden, da naturgemäß bei einem verhältnismäßig großen Humusvorrat sich viele andere Organismen an dessen Verarbeitung mit beteiligen werden.

Alle Forscher, die sich mit der Tätigkeit der freilebenden Stickstoff-Assimilanten eingehend beschäftigt haben, sind zu Zahlen gekommen, wie sie nach unserer Berechnung zu erwarten sind. Berthelot, der zuerst (1885) auf das Vorkommen und die Tätigkeit stickstofffixierender Bakterien im Boden aufmerksam machte, bemaß den von ihnen zu erwartenden Gewinn auf 16—25 kg, Pagnoul kam auf 14,5 kg, Schlösing jun. und Laurent auf 40 kg, Henry auf 10—20 kg, Beijerinck auf 25 kg[1]).

Solche und noch viel größere Schwankungen im Stickstoffgehalte des Bodens sind aber, namentlich soweit es sich um größere Erdmengen handelt, kaum oder überhaupt nicht nachweisbar[2]).

Da ein Stickstoff-Vorrat von 4000 kg pro ha annähernd einem Stickstoffgehalt des betreffenden Bodens von 0,100 % entspricht, so würde eine Zunahme um 40 kg gleichbedeutend sein mit einem Ansteigen dieser Zahl auf 0,101 %. Welche Differenzen aber selbst dann zu erwarten sind, wenn von einem an sich gleichartigen Boden Erdproben jedesmal nur in ca. 1 m Abstand entnommen werden, mögen die folgenden, von A. E. Mitscherlich[3]) ermittelten Befunde dartun (% Stickstoff):

0,205 0,152 0,198 0,198 0,199 0,205 0,126 0,150 0,228 0,224.

In nur 2 m Abstand ergaben sich also auf gleichartigem Boden Abweichungen bis um 0,102 % = reichlich 4000 kg pro ha.

---

[1]) Die betreffenden Literatur-Zitate finden sich in meinem „Handbuch der landw. Bakteriologie" 1910, S. 693.

[2]) Vgl. hierzu die betreffenden Ausführungen in meiner in der „Deutschen landw. Presse" 1904, S. 817 veröffentlichten Arbeit.

[3]) Landw. Jahrb. 1910, S. 358.

Zuverlässiger ist es entschieden, wie dies durch Schlösing und Laurent[1]) geschah, auf gasanalytischem Wege festzustellen, wieviel Stickstoff aus einem abgeschlossenen Luftraum entnommen wird. Andererseits kann man aber naturgemäß auch so verfahren, daß man kleinere, sorgfältig gemischte Erdmengen unter Bedingungen aufbewahrt, die für das Wirken der stickstoffbindenden Erdorganismen besonders günstig sind. Dann läßt sich entweder durch die direkte Erdanalyse oder durch den Vegetations-Versuch in der Regel deutlich nachweisen, daß eine Stickstoffbindung im Boden stattgefunden hat[2]). Vollkommen einwandfrei sind indessen diese Befunde nicht. Denn erstens sind auch sie noch mit verhältnismäßig recht weiten Fehlergrenzen behaftet, und zweitens kann man die unter so abweichenden Bedingungen erlangten Ergebnisse nicht verallgemeinern, also namentlich nicht daraus schließen, wie groß die Stickstoffbindung im Acker ist.

Vollständig irreführend ist es aber selbstverständlich, solche Versuche, bei denen die chemische Erdanalyse keine außerhalb der Fehlergrenzen liegende Änderung des Stickstoffgehaltes erkennen läßt, dahin zu interpretieren, daß in ihnen „ein vorzügliches Beweismaterial für die Bedeutungslosigkeit der freilebenden stickstoffsammelnden Bakterien unter natürlichen Bedingungen“ zu erblicken sei[3]). Eine Stickstoffzunahme um 100—200 kg und mehr pro ha wäre demnach vollkommen „bedeutungslos“!

Wollen wir wissen, welche Rolle die Stickstoffbindung in unseren Äckern, Wiesen und Wäldern spielt, so können uns hierüber nur Jahrzehnte hindurch an Ort und Stelle fort-

---

[1]) Compt. rend de l'Acad. Paris. T. 113, 1891, p. 777. Annal. de l'Inst. Pasteur T. 6, 1892, p. 834.

[2]) Vergl. hierzu die bereits recht zahlreichen positiven Befunde, die in meinem Handbuch S. 674—676 zusammengestellt sind. In den 3 letzten Jahren sind sie mehrfach bestätigt worden. S. auch speziell A. Koch, Journ. f. Landw. 1907, S. 355-416, 1909, S. 269—286.

[3]) Wegen dieser von Th. Pfeiffer mehrfach wiederholten Behauptung vergl. das Schlußwort der vorliegenden Schrift.

geführte Versuche zuverlässige Auskunft erteilen. Insofern gibt uns allerdings schon die Natur selbst sehr deutliche Anhaltspunkte, als wir an jedem bloßgelegten Felsen sehen, wie sich auf dem unfruchtbaren Stein nach und nach unter Verwendung der mineralischen Bestandteile des verwitternden Gesteins eine immer reicher werdende Flora ansiedelt, deren Stickstoffnahrung fast ausschließlich der Luft entstammt. Ferner lehren uns Wald, Moor und Wiese aufs deutlichste, daß dort, wo reichlich Humus zur Verfügung steht, der Boden einer nur geringen oder überhaupt keiner Stickstoffdüngung bedarf.

Die höchst interessanten Dauerversuche in Rothamsted wurden bereits besprochen. Wir haben gesehen, daß bei fortgesetztem Weizen- oder Gerste-Anbau allerdings innerhalb eines halben Jahrhunderts ein Sinken der Ernten zu konstatieren war. Da die gleiche Erscheinung aber stets auch auf den mit mineralischer Stickstoffdüngung versehenen Teilstücken hervortrat, so kann zweifellos nicht eine „Ausraubung" des Bodens an Stickstoff hierfür verantwortlich gemacht werden. Der Fruchtwechsel-Versuch (auf dem Agdell-Felde) hat denn auch durch 60 Jahre hindurch gleichbleibende Ernten geliefert, und daß sich in anderen Fällen ganz ähnliche Resultate herausgestellt haben, mag die folgende Übersicht dartun.

Versuch in	Bisherige Dauer des Versuches	Jährliche Stickstoff-Ernten pro ha
Rothamsted, Fruchtwechsel	60 Jahre	30—40 kg
Halle, Roggenanbau [1])	ca. 20 "	29 "
Ellenbach, Fruchtwechsel [2])	ca. 10 "	27 "
Göttingen, Brache-Versuch [3])	10 "	36 "
Groß-Enzersdorf, Getreidebau [4])	6 "	29 "
Lauchstädt, Fruchtwechsel [5])	3 "	33 "

[1]) Kühn, Berichte d. landw. Inst. Halle, Bd. 15, 1901, S. 172--186.

[2]) Caron, Amtsblatt d. Landw. Kammer, Cassel 1901, S. 97.

[3]) A. Koch, Journal f. Landwirtschaft, Bd. 61, 1913, S. 260.

[4]) A. v. Liebenberg, Mitt. der Hochschule f. Bodenkultur, Wien Bd. 1, 1912, S. 1—56.

[5]) Schneidewind, Meyer und Münter, Fühlings landw. Zeitg. Bd. 60, 1911, S. 780—791.

A. Thaer[1]) und P. Wagner[2]) kamen gleichfalls zu dem Ergebnis, daß unsere Ernten bei unvollständigem Stickstoff-Ersatz jährlich rund 30 kg Stickstoff aus anderen Quellen entnehmen können[3]).

Daß für die Deckung dieses Defizits der bei der fortschreitenden Zersetzung des Humus verfügbar werdende Stickstoff mit in Rechnung zu ziehen ist, ist meines Wissens nie von irgend jemandem bestritten worden. Daß er aber neben den unbedeutenden Stickstoffmengen im Regen allein in Betracht zu ziehen und die Stickstoffbindung im Boden ohne jede praktische Bedeutung sei, erscheint mir sehr wenig wahrscheinlich, und irgend welcher Beweis ist bisher für diese Ansicht jedenfalls nicht erbracht worden.

Wie groß der auf die Stickstoffbindung bezw. auf den Stickstoff-Abbau entfallende Anteil im einzelnen Falle ist, kann mit unseren heutigen Forschungsmethoden nicht ermittelt werden und sehr wahrscheinlich wird es nie möglich sein, ihn exakt festzustellen.

Für die Tätigkeit der stickstoffbindenden Bakterien im Boden sprechen vor allem die folgenden Tatsachen:

1. Die bei Feldversuchen auf gutem Boden sehr regelmäßig und durch lange Zeiträume hindurch sich einstellenden ca. 30 kg pro ha entsprechenden Mehrernten an Stickstoff[4]).

---

[1]) Landw. Vers. Stat. Bd. 23, 1879, S. 376—383, Journ. f. Landw. Bd. 32, 1884, S. 567.

[2]) Arbeiten der Deutsch. Landw. Gesellsch. Heft 129, 1907, S. 278 bis 286.

[3]) Wesentlich höhere Beträge im Durchschnitt von 6 Jahren (reichlich 60 kg) ergaben sich für das Breslauer Versuchsfeld Rosenthal (vgl. Rümker, Mitt. landw. Inst. Breslau, Bd. 5, 1909, S. 602), dessen Ackerkrume indessen abnorm reich an leicht zersetzlichem Humus ist.

[4]) Die etwas höheren Zahlen des Rothamsteder Versuches sind meines Erachtens auf das Auftreten schmetterlingsblütiger Unkräuter zurückzuführen, vgl. Fühlings landw. Ztg. 1909, S. 433.

2. Die Tatsache, daß aus physiologischen Gründen je nach dem Humusgehalt der betreffenden Erde zwischen 10 und 40 kg pro ha liegende Stickstoffgewinne zu erwarten sind.
3. Das regelmäßige Vorkommen großer Mengen von Stickstoffassimilanten in fruchtbarer Erde.
4. Die Tatsache, daß bei ausbleibender Stickstoffdüngung die Menge der stickstoffbindenden Bakterien im Boden steigt[1]).
5. Die Übereinstimmung zwischen der verstärkten Wirksamkeit der stickstofffixierenden Erdorganismen und den erhöhten Stickstoffernten infolge rationeller Bodenbearbeitung[2]).
6. Die Tatsache, daß die bei der Fortzüchtung stickstoffbindender Bodenbakterien ziemlich leicht in Verlust geratende Befähigung zur Fixierung des elementaren Stickstoffs dadurch sofort wiederhergestellt werden kann, daß man diese Kulturen in Erde einimpft.

Gegen die praktische Bedeutung der Stickstoffbindung im Boden sind allerhand Annahmen und Erwägungen geltend gemacht worden, die zwar für eine subjektive Urteilsbildung ausreichen mögen, denen aber eine weitergehende Bedeutung nicht zuerkannt werden kann[3]).

Erdanalysen können, wie gesagt, keine entscheidenden Antworten geben. Doch deuten auch sie wenigstens in solchen Fällen, wo man die Bedingungen für die Stickstoffbindung besonders günstig gestaltete, auf eine rege Tätigkeit der zu dieser Funktion befähigten Organismen hin. Handelt es sich um einen Boden, der an löslichem Stickstoff besonders reich ist, dann kann allerdings die Stickstoffbindung stark

---

[1]) Nowacki, Deutsche landw. Presse, 1911, S. 166.

[2]) Löhnis, Mitt. d. landw. Inst. Leipzig, Heft 7, 1905, S. 75.

[3]) Sie ähneln durchaus jenen Erwägungen und Berechnungen, die s. Z. von Drechsler, Blomeyer u. a. gegen die Stickstoffbindung der Leguminosen ins Feld geführt worden sind (vgl. S. 3f.).

zurücktreten oder auch ganz unterbleiben. Das ist hier nicht anders als bei den Knöllchen-Bakterien.

Bei der gegebenen Sachlage muß es demnach der eigenen Entschließung überlassen bleiben, ob man lieber derjenigen Meinung beipflichtet, die jede praktische Bedeutung der Stickstoffbindung im Boden in Abrede stellt und jeden nicht vollständigen Ersatz des in den Ernten enthaltenen Stickstoffes als „Raubbau“ am Bodenstickstoff bezeichnet, oder ob man aus den angeführten Tatsachen den gegenteiligen Schluß zu ziehen für richtiger hält.

Zu hoch einschätzen wird man die Stickstoffbindung im Boden nicht, wenn man jenes Verhältnisses zwischen Kohlenstoff-Verbrauch und Stickstoff-Bindung stets eingedenk bleibt, auf dessen ausschlaggebende Bedeutung ich bereits vor 10 Jahren hingewiesen habe. Daß dem Humus und dessen Ersatz — wie in anderer, so auch in dieser Richtung — sehr große Wichtigkeit beizumessen ist, bedarf keiner weiteren Erörterung. Daß aber auch die Düngung mit Kali und Phosphorsäure, sofern der Boden hierfür bedürftig ist, unter diesem Gesichtspunkte erhöhte Bedeutung gewinnt, haben uns insbesondere die Rothamsteder Versuche deutlich gezeigt.

Ein eventueller Gewinn an Stickstoff im Betrage von etwa 20 kg pro ha ist naturgemäß, wie ich ebenfalls mehrfach betont habe, für die Erzielung von Höchsternten nicht ausreichend. Für „praktisch bedeutungslos“ vermag ich ihn indessen andrerseits gleichfalls nicht anzusehen. Vielmehr halte ich ihn für groß genug, um einer sorgfältigen Bearbeitung und Pflege des Bodens auch deshalb das Wort zu reden, weil wir hierdurch die nötigen Vorbedingungen für eine möglichst ausgiebige Tätigkeit der nützlichen Erdorganismen schaffen.

Gegen diese Auseinandersetzungen könnte nun vielleicht noch geltend gemacht werden, daß bei der Frage nach der Deckung des Stickstoff-Defizits die in den Niederschlägen dem Boden zugeführten Stickstoffmengen sowie das aus der Luft absorbierte Ammoniak doch nicht vergessen werden dürfen. Indessen darf

es nach allen neueren Forschungen als feststehend angesehen werden, daß die Zufuhr durch die Niederschläge aufgewogen oder noch übertroffen wird durch die Stickstoff-Ausfuhr in den Sickerwässern. Und daß die Ammoniak-Absorption praktisch völlig bedeutungslos ist, kann meines Erachtens auf Grund der eingehenden Untersuchungen von Hall und Miller[1]) nicht mehr mit Recht in Zweifel gezogen werden.

A. Koch[2]) hat kürzlich das Resultat eines sehr instruktiven Versuches veröffentlicht, in dem Erde (ohne spezielle Beigabe von organischen Stoffen) 2¼ Jahr hindurch im Dunkeln und unter Fernhaltung jeder Spur von Ammoniak aufbewahrt wurde. Der Stickstoffgehalt stieg um 10 %. Die stickstoffbindenden Bodenbakterien haben also hier unter optimalen Bedingungen pro Jahr auf das Hektar berechnet ca. 200 kg Stickstoff gebunden, d. h. ebenso viel, wie man von den Knöllchenbakterien bei guter Entwicklung der Leguminosen erwarten kann[3]).

Sind die Bedingungen für ein kräftiges Wachstum der schmetterlingsblütigen Gewächse gegeben, so können wir, wie gesagt, mit ziemlicher Sicherheit auf 5—10 mal so hohe Stickstoffgewinne rechnen, als sie sich uns sonst darbieten. Aber diese Bedingungen sind leider durchaus nicht immer erfüllt; namentlich die Gründüngungspflanzen wachsen keineswegs stets so, wie man es wünschen und hoffen möchte. Soweit es sich um guten, stickstoffreichen Boden handelt, läßt zudem die Stickstoffbindung wohl auch nicht allzu selten zu wünschen übrig. Die Leguminosen sind dann nicht ausschließlich Stickstoffsammler, sondern nebenbei auch Stickstoffzehrer. Das allerdings ist sehr beachtenswert, daß nach mehrfacher übereinstimmender Feststellung auch im Boden selbst, also außerhalb der Wurzeln, die stickstoffbindenden Bakterien sich unter einem Papilionaceen-

---

[1]) Hall und Miller, Journ. Agricultural Science, Vol. 4, 1911, p. 56—68. Löhnis, Fühlings landw. Zeitung, 1913, S. 840.

[2]) Journ. f. Landw., Bd. 61, 1913, S. 263.

[3]) Eine entsprechende Beschleunigung des Humus-Abbaues in kleinen Erdmengen ist mehrfach konstatiert worden, vgl. mein Handbuch S. 533, 563 f.

Bestande besonders reichlich vermehren. Die spezifisch günstige Wirkung, die diese Pflanzen auf die nach ihnen angebauten Gewächse ausüben, scheint wenigstens zum Teil mit dieser Tatsache in Zusammenhang zu stehen, die es außerdem auch erklärlicher erscheinen läßt, weshalb nicht selten eine recht günstige Nachwirkung auch dann erzielt wird, wenn die grüne Masse nicht untergepflügt, sondern abgeerntet wurde. Daß große Massen leicht zersetzlicher organischer Substanz namentlich dann, wenn sie einem nitratreichen Boden einverleibt werden, durch Förderung der Nitrat-Assimilation, eventuell sogar der Denitrifikation, mitunter mehr nachteilig als nützlich wirken können, habe ich dargelegt. Soweit dies vom wirtschaftlichen Standpunkte aus zweckmäßig erscheint, wird man ja ohnehin dem Verfüttern aller hierzu geeigneten Leguminosen-Bestände vor dem Unterpflügen mit Recht stets den Vorzug geben. Daß uns aber in den Leguminosen sowie in einigen anderen Pflanzenfamilien, die in ihren Wurzeln oder in ihren Blättern stickstoffbindende Bakterien beherbergen, auch gewissermaßen „Kulturpioniere" gegeben sind, die z. T. für die Bereicherung von bisher sehr extensiv oder überhaupt nicht bewirtschafteten Böden, wie sie u. a. in unseren Kolonien noch reichlich anzutreffen sind, besonders nützlich werden können, das mag wenigstens beiläufig angedeutet sein[1]).

Für den Umsatz des Kalis, der Phosphorsäure und des Kalkes ist die Tätigkeit der Erdorganismen im allgemeinen indirekt jedenfalls von größerer Bedeutung als direkt. Namentlich sind es die sehr großen Mengen an Kohlensäure, die bei der Humuszersetzung in Freiheit gesetzt werden, sowie die kleineren Quantitäten anderer Säuren bakteriellen Ursprunges, die als lösende Agentien eine recht wichtige Rolle im Boden spielen. Dadurch, daß die Bakterien infolge ihrer außerordentlich geringen Größe imstande sind, bis in die engsten Spalten der

---

[1]) Weiteres in meinen „Vorlesungen über landw. Bakteriologie", 1913, S. 165—167, 367.

mineralischen Bodenbestandteile vorzudringen, und wenigstens manche von ihnen durch Schleimproduktion einen sehr engen Kontakt mit den Mineralien herzustellen vermögen[1]), können sie zweifellos oft weit mehr leisten als die Wurzeln unserer Kulturgewächse, denen sie zudem in fruchtbarer Erde an Gewicht ja kaum nachstehen. Ist ausnahmsweise Überfluß an leicht zersetzlicher organischer Substanz vorhanden, so können die bereits löslich gewordenen mineralischen Bestandteile ebenso wie der Nitrat- oder Ammoniak-Stickstoff von den Bakterien und Pilzen des Bodens assimiliert und damit den höheren Pflanzen zeitweise entzogen werden. Eine erhebliche praktische Bedeutung dürfte dieser Möglichkeit indessen kaum beizumessen sein. Daß bei dem Abbau der organischen Phosphor-Verbindungen (Lezithin, Phytin usw.), wie sie namentlich mit der Gründüngung dem Boden einverleibt werden, wiederum die Mitwirkung der Erdorganismen unentbehrlich ist, brauche ich wohl kaum noch besonders zu betonen.

Neben und zugleich mit den vielerlei chemischen Umsetzungen üben die Erdorganismen aber auch allerhand physikalische Wirkungen aus, die, weil sie meist sinnenfälliger sind, in erster Linie dem Praktiker Auskunft geben über die Tätigkeit des Bodens und seiner Bewohner. Daß für das Lockern, Krümeln und Vermischen der erdigen Bestandteile vor allem die tierischen Organismen von Bedeutung sind, wurde schon erwähnt. Auf einige andere hierher gehörige Erscheinungen, die speziell für den „garen" Boden charakteristisch sind, wird sogleich etwas näher einzugehen sein.

Zuvor sei noch kurz daran erinnert, daß es mitunter vorkommen kann, daß das Leben im Boden gestört und infolgedessen seine Tätigkeit gehemmt ist. Namentlich bei dauernd einseitiger Nutzung des Bodens, z. B. in Weinbergen, kommt es nicht allzu selten vor, daß das Land trotz sorgfältiger Be-

---

[1]) Vgl. hierzu Bassalik, Zeitschr. f. Gärungsphysiol., Bd. 2, 1912, S. 14—32, Bd. 3, 1913, S. 15—42.

arbeitung und Düngung „müde“ wird. Noch häufiger ist die gleiche Erscheinung an Gewächshaus-Erde wahrzunehmen, die deshalb oft schon nach relativ kurzer Zeit erneuert werden muß, trotzdem sie noch überreich an Nährstoffen ist und auch ihre physikalische Beschaffenheit keine Verschlechterung erkennen läßt. Offenbar handelt es sich hier um Störungen in biologischer Hinsicht, die nur durch eine entsprechende Boden-Reinigung, eine partielle Sterilisation der Erde, erfolgreich zu beheben sind. Namentlich die Forschungen von E. J. Russell und seinen Mitarbeitern haben es sehr wahrscheinlich gemacht, daß speziell das Überhandnehmen von Protozoën für diese Arten von Bodenmüdigkeit verantwortlich zu machen ist. Durch Einführung flüchtiger Gifte (Schwefelkohlenstoff, Formaldehyd u. a.) oder durch Dämpfen des Bodens können sie größtenteils abgetötet und damit den Bakterien wieder die Wege freigemacht werden zu nützlicher Tätigkeit. Auf „müde“ gewordenen Rieselfeldern haben sich analoge direkte Maßnahmen gleichfalls recht gut bewährt. Im übrigen aber werden wir (der Kosten halber) in der Regel anderen, indirekten Maßnahmen den Vorzug geben. Es sind dies: sorgfältige Bearbeitung und Pflege des in richtiger Weise drainierten Bodens, ein geeigneter Fruchtwechsel und richtige Düngung, bei der vor allem der Zufuhr organischer Substanzen das entsprechende Augenmerk gewidmet wird.

Das Gegenstück zur partiellen Sterilisation des Bodens stellt dessen Impfung dar. Auf dem Keimgehalt, also auf der Eigenschaft als Impfstoff, beruht zu einem guten Teile die Wirkung des Stallmistes und des Kompostes. Mit vollem Rechte hat schon vor 60 Jahren W. Kette den Rat gegeben, zugleich mit der Gründüngung eine kleine Menge Stallmist (etwa 4000 kg pro ha) unterzupflügen, ein Verfahren, das auch Schultz-Lupitz sehr zweckmäßig fand. Die Impfung mit Bakterien-Reinkulturen hat sich bisher nur bei dem Anbau von Hülsenfrüchten und kleeartigen Futterpflanzen sicher bewährt. Wenn wir hier die Knöllchenbakterien an die Samen bringen, so finden sie, sobald die junge Pflanze zu wachsen beginnt, in

deren Wurzeln eine geeignete Wohnstätte, wo sie ihre Tätigkeit ungestört ausüben können. Im übrigen haben die mancherlei Präparate, die großenteils in recht unüberlegter Weise zum Impfen der Felder empfohlen wurden, nicht nur sehr wenig oder überhaupt nicht gewirkt, sie haben sogar direkt geschadet, insofern sie die bakteriologische Denk- und Anschauungsweise bei Vielen in Mißkredit brachten. So klar und einfach der Sachverhalt an sich auch liegen mag, so wird eben doch nur allzu oft übersehen, daß das Impfen des Bodens natürlich nur dann von Erfolg begleitet sein kann, wenn die eingeimpften Organismen in ihm zusagende Existenz-Bedingungen vorfinden. Bei der allgemeinen Verbreitung der Bakterien ist es sehr wahrscheinlich, daß der Bakterienbestand eines Feldes dessen Kultur-Zustand aufs beste angepaßt ist. Je höher die Kultur, umso reicher auch das Leben im Boden. Einen schlechten Acker einfach durch Einimpfung von an sich vielleicht zu hoher Leistung befähigten Bakterien verbessern zu wollen, ist ebenso aussichtsreich, wie auf einer Landstraße wertvolles Saatgut auszustreuen oder von einer hochgezüchteten Milchkuh bei unzureichendem Futter und schlechter Pflege große Milcherträge zu erwarten.

Die Boden-Gare.

Seit langem steht es fest, daß ein garer Acker die höchsten und sichersten Ernten liefert. Die Erreichung der Gare nennt Rosenberg-Lipinsky[1]) das „Hauptziel der Bodenkultur", und demgemäß nahmen die Erörterungen über die hiermit in Zusammenhang stehenden Fragen namentlich in den älteren landwirtschaftlichen Werken mit Recht einen breiten Raum ein[2]), während sie neuerdings oft nur allzu sehr durch andere Darlegungen, speziell über die Verwendung von Handelsdünger,

[1]) Der praktische Ackerbau, 3. Aufl., 1869, Bd. 1. S. 322.

[2]) Vgl. u. a. W. v. Laer, Die Ackergare, 2. Aufl., 1865; v. Rosenberg-Lipinsky a. a. O. S. XI, Bd. 2, S. 9—15, 112—121, 186—193; v. Kirchbach, Handbuch f. Landwirte, 9. Aufl., 1880, S. 110—115.

in den Hintergrund gedrängt werden. Und doch sind gerade unsere heutigen Kenntnisse über das Leben im Boden zusammen mit dem vermehrten Wissen über die Chemie und Physik der Ackererde ganz besonders dazu geeignet, eine viel vollständigere Erklärung für den hohen Wert der Bodengare zu liefern, als dies in früheren Zeiten möglich war.

W. von Laer sagte[1]): Der gare Acker ist äußerlich mürbe und morsch, innerlich aber reicher. Wir können genauer sagen: Der gare Acker befindet sich in dem günstigsten chemischen, physikalischen und biologischen Zustand, den er seiner Natur nach überhaupt erreichen kann. Der Reichtum des Bodens ist den Pflanzenwurzeln zugänglicher gemacht. Die lockere, mürbe Beschaffenheit begünstigt eine kräftige, weitreichende Entwicklung der Wurzeln. Luft und Wärme können leichter in den Boden eindringen. Seine wasserfassende Kraft ist erhöht; den Pflanzen steht infolgedessen ein größerer Vorrat an Feuchtigkeit zur Verfügung. Das Leben im Boden nimmt zu und trägt seinerseits zur Aufschließung des Nährstoffvorrates und eventuell (durch Stickstoffbindung) zu einer Erhöhung desselben bei. Dadurch aber, daß die auf einem garen Boden angebauten Pflanzen die günstigsten Wachstumsbedingungen vorfinden, werden sie zugleich widerstandsfähiger gegen allerhand Schädlinge und Krankheiten. Zwischen Bodengare und der neuerdings mit Recht in den Vordergrund gerückten „Bodenhygiene“ besteht somit ein enger Zusammenhang.

Daß für das Zustandekommen der regelrechten Gare vor allem die organischen Bodenbestandteile von größter Bedeutung sind, ist eine altbekannte Tatsache. Und wenn man den Ausdruck „Gare“, wie das vielfach geschah, mit den vor sich gehenden Umsetzungen und Zersetzungen dieser Substanzen, mit deren „Gärung“ in Zusammenhang brachte, so war das, wenigstens zum Teil, ganz sicher richtig. Reiner Sand zeigt niemals die charakteristische Beschaffenheit garen Bodens. Ver-

[1]) a. a. O. S. 9.

mischen wir ihn aber mit reichlichen Mengen (etwa mit 20 %) Stallmist und überlassen ihn einige Monate sich selbst, wobei wir nur von Zeit zu Zeit für genügende Anfeuchtung Sorge zu tragen haben, so sehen wir eine krümelige, poröse, dunkel gefärbte Erde entstehen, die auch den charakteristischen Geruch fruchtbaren Bodens aufs deutlichste zeigt. Ein oft wiederkehrender Irrtum ist es allerdings, die mürbe, elastische Beschaffenheit garen Bodens auf eine aufblähende Wirkung der bei der Zersetzung der Humusstoffe freiwerdenden Kohlensäure zurückzuführen. Gewiß können diese Mengen sehr groß sein (vgl. S. 16), aber in der Regel wenigstens ist es so, daß je ein Raumteil Kohlensäure an die Stelle eines Raumteiles Sauerstoff tritt; das im Boden eingeschlossene Gas-Volumen bleibt somit das gleiche. Das teilweise Schwinden des Humus führt indessen notwendigerweise zur Bildung von kleinen Hohlräumen, also zu einer vermehrten Porosität, einer mürberen Beschaffenheit des Erdreiches. Den Ausdruck „gar" glaube ich demnach — wofür auch die Verwendung der gegenteiligen Bezeichnung „ungar" spricht — besser so erklären zu müssen, daß wir darunter einen Zustand des Bodens zu verstehen haben, in dem dieser (wie die „garen" Speisen zum Genuß) vollkommen fertig zubereitet ist, um eine neue Saat kräftig ernähren zu können.

Die Umsetzungen der organischen Substanzen, die Bildung und der teilweise Abbau des „milden" Humus, sind also sowohl in chemischer wie in physikalischer Hinsicht von großer Bedeutung. Stallmist- und Gründüngung, Kalkung, sowie eine zweckentsprechende Bearbeitung und Pflege des Bodens unterstützen diese Prozesse. Außerdem wirken sie direkt auf die mechanische Struktur des Bodens vorteilhaft ein. Der Einfluß des Frostes und die Regelung der Bodenfeuchtigkeit durch Ent- oder Bewässerung können in gleicher Richtung zur Geltung kommen. Weiterhin ist die Art der Nutzung des Landes in Rechnung zu ziehen. Und schließlich können wir, wie im vorigen Abschnitte dargelegt wurde, außer auf diesen verschiedenen indirekten Wegen, wenigstens in gewissen Fällen,

direkt durch Impfung oder partielle Sterilisation das Leben im Boden in erwünschter Weise beeinflussen.

Die Tatsache, daß zur Erreichung der Gare eine gewisse Zeit erforderlich ist, während der die Bodentätigkeit nicht durch Pflügen und Eggen gestört werden darf, weist deutlich darauf hin, daß die Mitwirkung der Bakterien und Pilze des Bodens für das Eintreten der Gare unentbehrlich ist. Wollte man einen reifenden Käse immer von neuem zerkleinern, durcharbeiten, neu formen und pressen, man würde niemals ein normal gereiftes Produkt erzielen. Mit dem Acker verhält es sich ganz ähnlich. Auch ihm muß man die nötige Zeit lassen, damit er die richtige Gare erlangt oder damit er, mit anderen Worten, „reif" wird, von neuem Frucht zu tragen.

Wird der Acker mit Leguminosen bestellt, so bleibt die Gare z. T. erhalten; wir haben es dann mit der sogen. Schattengare zu tun. Durch seinen geringeren Wassergehalt unterscheidet sich allerdings ein solches Feld sehr deutlich von dem noch nicht bestellten garen Acker. Aber gleichwohl ist es eine nicht abzuleugnende Tatsache, daß gerade die Leguminosen, allerdings nur bei dichtem Bestande, sowohl auf die chemische wie auf die physikalische, wie auch — und nicht zum wenigsten — auf die biologische Beschaffenheit des Bodens sehr vorteilhaft einwirken können. Die Hackfrüchte kommen in der Regel an zweiter, das Getreide an dritter Stelle. Besonders im zuletzt genannten Falle geht ja leider die Gare des Bodens nur allzu oft in kürzester Zeit verloren.

Daß es möglich ist, dem Acker in der Zeit zwischen Ernte und Saat die richtige Gare zu verleihen, ist außer Zweifel. Namentlich soweit es dem Boden nicht an alter Kultur fehlt, das Wetter keinen Strich durch die Rechnung macht, die erforderlichen Kenntnisse vorhanden und die nötigen Betriebsmittel verfügbar sind, wird sich das Ziel, wenn auch nicht immer, so doch meist erreichen lassen. Drainage, Tief- und Hackkultur, eventuell Boden-Fräsung, ein geeigneter Fruchtwechsel und nötigenfalls eine von Zeit zu Zeit wiederkehrende

Kalkung des Feldes erweisen sich hierbei als von besonderem Nutzen.

Aber es kommt doch auch vor, daß es nur mit außerordentlichen Schwierigkeiten oder überhaupt nicht gelingt, auf diesem normalen Wege ans Ziel zu gelangen.

Vor allem sind es die leichten Böden, die an Humus-Armut leiden, die mit Hilfe jener Maßnahmen niemals in einen garen Zustand versetzt werden können. Die Zahl der anzubauenden Früchte ist von vornherein beschränkt. Tief- und Hackkultur würden nicht nur mit einer Verschwendung gleichbedeutend sein, sie könnten eventuell die Fruchtbarkeit des Bodens ernstlich beeinträchtigen. Größere Kalkungen würden nur den letzten Humusvorrat nutzlos zum Schwinden bringen. Vermehrung des Humusgehaltes, also Hebung des Bodenreichtums, ist hier das erste Gebot. Möglichst ausgedehnte Anwendung der Gründüngung führt am sichersten auf diesem Wege vorwärts. Nur ein hinreichend an Humus angereicherter Sandboden kann — wenigstens in beschränktem Umfange — die Eigenschaften eines garen Bodens erreichen.

Andrerseits sind es die schweren Böden in rauher Lage, denen durch die genannten Hilfsmittel nicht immer beizukommen ist. Sie werden nicht gar und die Ernten entsprechen nicht dem natürlichen Reichtum des Ackers, weil es an der nötigen Tätigkeit im Boden fehlt. Unter solchen Bedingungen ist die Brache am Platze. Sie verschafft dem Boden seine Gare, die Fruchtbarkeit des Feldes steigt, der Ackerbau wird wieder lohnend.

Die überraschend günstigen Erfolge, die v. Caron in Ellenbach in seinem Betriebe durch Wiedereinführung der Schwarzbrache erzielen konnte, nachdem die übliche Wirtschaftsweise mit Stallmist und Gründünger zu durchaus unbefriedigenden Resultaten geführt hatte, sind zu bekannt, als daß ich hier näher darauf einzugehen brauchte. H. Droops Werke „Die Brache in der modernen Landwirtschaft“ und „Lohnendster Ackerbau bei billigster Düngung“ haben dann besonders dazu beigetragen, die Aufmerksamkeit der Landwirte auf die Vorteile hinzulenken,

die unter geeigneten Umständen aus einer rationellen Anwendung der Brache resultieren können.

Bei der weiteren, namentlich durch Carons Erfolge in Gang gebrachten Diskussion stellte es sich indessen nur zu bald heraus, daß infolge unzutreffender Vorstellungen über Zweck und Aufgabe der Brache auch die Ansichten über deren Wert oder Unwert nicht selten an Richtigkeit sehr viel zu wünschen übrig ließen. Die an sich so einfache, und so oft betonte[1]) Tatsache, daß der Zweck der Brache darin besteht, dem schweren Boden, der infolge ungeeigneter Kultur oder ungünstiger klimatischer Verhältnisse die Gare dauernd verloren hat, diese wieder zu verleihen, wurde vielfach ganz übersehen.

Man machte Bracheversuche auf Sandboden[2]); man füllte Heidesand in Kästen, ließ ihn dauernd unbestellt und nannte das Brache[3]); man brachte reiche, kompostartige Erde in Gefäße, in die man eventuell noch zuvor eine Unterschicht von Sand gegeben hatte[4]), und glaubte mit Hilfe der so erlangten Resultate die Schädlichkeit der Brache erweisen zu können. Milden Lehm[5]), humosen Lößlehm bester Beschaffenheit[6]), überreich mit städtischem Karrendünger vermischten Boden[7]), ja sogar altes Gartenland[8]) zog man zu Bracheversuchen heran, obgleich weder

---

[1]) Vergl. v. Schwerz, Anleitung z. prakt. Ackerbau, 3. Bd., 3. Aufl. 1843, S. 53; v. Laer, Die Ackergare, 2. Aufl. 1865, S. 40—49; v. Rosenberg-Lipinsky, Der prakt. Ackerbau, 3. Aufl. 1869, S. 544—552; Droop, Die Brache, 1900, S. 159—174.

[2]) Gerlach, Mitt. d. Kaiser Wilhelms-Instituts f. Landwirtschaft, Bromberg, Bd. 5, 1913, S. 376 ff.

[3]) v. Seelhorst, Arbeiten d. Deutsch. Landw. Gesellsch., Heft 241, 1913.

[4]) Th. Pfeiffer, Stickstoffsammelnde Bakterien, Brache und Raubbau, 2. Aufl. 1912, S. 77, 79.

[5]) A. Koch, Journ. f. Landw., Bd. 61, 1913, S. 245.

[6]) W. Schneidewind, Landw. Jahrb., Bd. 36, 1907, S. 603 ff., Bd. 39, Erg.-Bd. III, 1910, S. 109 ff.

[7]) v. Rümker, Mitt. d. Landw. Instit. Breslau, Bd. 5, 1909, S. 602.

[8]) Mitscherlich, Landw. Jahrb. 1910, S. 355 ff.

die Beschaffenheit der betreffenden Felder noch die klimatischen Einflüsse in irgend welcher Weise für die Anwendung der Schwarzbrache in diesen Fällen sprachen.

Die unbestreitbare Tatsache, daß auf schwerem Boden unter ungünstigen klimatischen Verhältnissen (wie in Ellenbach) allein durch die Schwarzbrache dem Acker die nötige Gare verliehen und damit die Voraussetzung für befriedigende Erträge geschaffen werden können, glaubte man dadurch entkräften zu können, daß man auf hypothetische Berechnungen Thaers zurückgriff, die sich auf die Erfolge (oder richtiger Mißerfolge) einer höchst unrationellen Brachbearbeitung auf Sandboden bezogen[1]).

Und doch hatte bereits Schwerz[2]) gesagt:

„Mißbrauch läßt sich mit allem, also auch mit der reinen Brache treiben .... Es war eine Zeit, wo man die Brache ein Jahr über das andere vorkommen ließ .... Noch gab und gibt es Gegenden, wo die reine Brache mit jedem dritten Jahre auftritt, ein System, das nach den Umständen schlechter ist, als das vorangeführte .... Ein zweiter Mißbrauch, der sich von der Brache machen läßt, ist, sie auf einem Boden anzubringen, wo sie nicht hingehört, das ist auf leichtem, trockenem, zumal auf sandigem Boden, der, oft schon zu locker oder mürbe, keines Auflockerns oder Mürbens bedarf. In ähnlichem Falle befindet sich auch ein guter mergelartiger oder zureichend Kalk enthaltender Boden, der, auch im feuchten Zustande gepflügt, gar bald wieder abtrocknet und dann wie Gartenerde zerfällt.“

60 Jahre später schrieb Droop[3]):

„Auf sogen. leichtem Boden, der weniger als 10% abschlämmbare Teile enthält, ist die Brache unwirtschaftlich und zwecklos. Der Boden bedarf weniger der Lockerung, die Zersetzung organischer Stoffe (Dünger usw.) geht ohnehin energisch genug vonstatten und es ist wenig an Mineralstoffen vorhanden, auf welche die Verwitterung wirken könnte. Wird ein solcher leichter Boden mit Stalldünger gedüngt und

---

1) Th. Pfeiffer, a. a. O., 1. Aufl. 1904, S. 9. Vergl. dazu meine Ausführungen in der Deutsch. landw. Presse 1904, S. 817, in d. Mitt. d. Landw. Instit. Breslau, Bd. 4, 1907, S. 40 und im Schlußwort der vorliegenden Schrift.

2) Schwerz, Anleitung z. prakt. Ackerbau, 3. Aufl. 1843, Bd. 3, S. 54.

3) Droop, Die Brache usw. 1900, S. 175.

dann gebracht, so ist ein bedeutender Verlust an Stickstoff die unvermeidliche Folge. Die Brache kann daher auf solchen Böden, die wir kurz Sandböden bezeichnen, nach keiner Richtung hin nutzen. Dasselbe gilt für Moorböden, für welche besondere Kulturen angebracht sind."

C. v. Seelhorst[1]) aber stellte es als Inkonsequenz hin, die Brache nur für schwere, nicht auch für Sandboden als nützlich zu bezeichnen. Seine eigenen Versuche mit Heidesand wären demgemäß als maßgebend für Tonböden anzusehen.

Th. Pfeiffer[2]) hat bekanntlich den Satz aufgestellt: „Die Brache bedingt unter allen Umständen einen forcierten Raubbau am Stickstoffkapital des Bodens." Aus den von ihm selbst zur Begründung dieser Behauptung beigebrachten Beobachtungsergebnissen war indessen lediglich der Schluß zu ziehen[3]), daß es in diesen Fällen nicht möglich war, „dem Boden mit Hilfe der Brache in den nachfolgenden Ernten auf die Dauer größere Stickstoffmengen abzugewinnen." Es wurde nun zwar weiterhin behauptet, daß ein großer Teil des „Raubes" durch die Sickerwässer entführt werde; einwandfreie Beweise sind indessen auch für diese Angabe nie erbracht worden, sie sind auch nicht zu erbringen, sofern nicht mit der Brache (nach Schwerzs Worten) „Mißbrauch getrieben" wird.

Da die Brache, wie gesagt, lediglich eines der Mittel ist, um die Gare des Bodens herbeizuführen, so würde, wenn jenes Schlagwort zuträfe, mithin jede auf die Herstellung einer vollkommenen Bodengare abzielende Maßnahme „forcierter Raubbau an Bodenstickstoff" sein. Gewiß wird stets im garen Acker der Bodenstickstoff zum Teil abgebaut und dadurch nutzbar gemacht; deshalb aber von Stickstoff-„Raubbau" zu sprechen, ist, wie gesagt, meines Erachtens in keiner Weise gerechtfertigt und zu billigen. Kalkung fördert bekanntermaßen die Umsetzung der organischen Substanzen und das Garwerden des Bodens ebenfalls sehr, und mißbrauchen kann man gerade dieses Hilfs-

[1]) Deutsche landw. Presse 1905, S. 615.
[2]) a. a. O. (1904) S. 52.
[3]) a. a. O. S. 39.

mittel sogar besonders leicht. Aber deshalb wird doch niemand behaupten wollen, die Kalkung sei ein „notwendiges Übel“ und sie stelle „unbedingt, unter allen Umständen“ einen „forcierten Raubbau“ an Boden-Stickstoff dar.

Schlagworte, die „unbedingt“ und „unter allen Umständen“ Geltung für sich beanspruchen, sind gerade in der Landwirtschaft sicherlich am wenigsten am Platze. H. Droop, einer der vielgeschmähten „Bracheschwärmer“, schreibt in seinem mehrfach zitierten Werke u. a. folgendes[1]):

„Sind die Wachstumsbedingungen für eine rentable Ernte im Boden vorhanden, so wäre es ein wirtschaftlicher Fehler, darauf verzichten zu wollen, um — anstatt dieselbe zu entnehmen — zu brachen, denn dann tritt in Wirklichkeit dasjenige ein, welches man allgemein und unter allen Umständen annimmt: Der Entgang eines Ernteertrages.

Man hat sich also die Frage vorzulegen, ob ein Acker, den man zu brachen beabsichtigt, noch geeignet ist, eine lohnende Ernte zu liefern oder nicht. Ist diese Frage zu bejahen, so wird man aus wirtschaftlichen Gründen eine Ernte nehmen; muß sie aber verneint werden, so ist auch nicht der Entgang eines Ernteertrages zu registrieren, und dann ist die Brache eines der Mittel, welche angezeigt sein können, einen Acker wieder ertragsfähig zu machen, und unter diesen Mitteln wieder wird die Brache am Platze sein, wenn sie wirtschaftliche Vorteile gewährleistet.“

Man wird schwerlich gegen eine solche Ausführung mit Recht etwas einwenden können und mir will scheinen, von Phrase und Schwärmerei ist hierin weit weniger zu spüren, als in jenen Schlagworten.

Es wird niemand auf die absurde Idee verfallen, den Gebrauch der Handels-Düngemittel deshalb „unbedingt“ als Verschwendung zu bezeichnen, weil sie auf garen reichen Böden, die alle Nährstoffe in aufnehmbarer Form im Überflusse enthalten, unwirksam bleiben müssen. Genau so unzutreffend ist eine allgemeine Verurteilung der Brache auf Grund von Versuchen, in denen diese Kulturmaßnahme überhaupt nicht die ihr eigentümliche Wirkung zu äußern in der Lage war.

---

[1]) a. a. O. S. 240.

Nicht minder unrichtig ist die These: „Der Anbau von Leguminosen ist der Brache mit Bezug auf die Nährstoffausnutzung unbedingt vorzuziehen". Denn unter den für die Brachhaltung sprechenden Boden- und Witterungsverhältnissen läßt die Entwicklung dieser Pflanzen, wie die Erfahrungen Carons erweisen, so viel zu wünschen übrig, daß ihr Anbau hier keineswegs den Vorzug verdient. Auf mildem Boden, in günstigerem Klima und namentlich auf Sand müssen sich naturgemäß der These entsprechende Befunde ergeben. „Unbedingte" Geltung erlangt diese aber hierdurch nicht.

Die Erforschung der Boden-Tätigkeit, eingehende Untersuchungen über das Zustandekommen und den Wert der Boden-Gare wären meines Erachtens weit mehr am Platze gewesen als jene kostspieligen, und doch fast durchweg unter völlig ungeeigneten Bedingungen durchgeführten Bracheversuche. Denn daß in einem in anderer Weise (durch Drainage, Kalkung, Hackkultur usw.) in den Zustand der Gare versetzten Acker sich die für dessen Fruchtbarkeit maßgebenden Umsetzungen in analoger Weise abspielen müssen, das konnte doch von vornherein nicht zweifelhaft sein[1]).

Umso mehr bleibt aber zu wünschen, daß die Erforschung gerade dieser landwirtschaftlich höchst wichtigen Probleme lebhafter in Angriff genommen werde als dies bisher geschehen ist. Im garen Boden erreicht die Fruchtbarkeit ihren Höhepunkt. Der gare Acker bringt die höchsten Reinerträge.

Schlußwort.

Fassen wir die Hauptgesichtspunkte unserer Darlegungen noch einmal kurz zusammen, so ergeben sich etwa die folgenden Sätze.

Die Fruchtbarkeit des Bodens richtet sich nach seinem Reichtum, d. h. nach seinem Gehalt an Pflanzen-Nährstoffen, und nach seiner Tätigkeit.

[1]) Vergl. hierzu die betreffenden Ausführungen in meiner Abhandlung in der Deutschen landw. Presse 1904, S. 817.

Reicher schwerer Boden, dem es an der erforderlichen Tätigkeit fehlt, läßt ebenso an Fruchtbarkeit zu wünschen übrig, wie armer Sandboden trotz seiner Tätigkeit. In beiden Fällen bleibt die für die fruchtbaren Äcker charakeristische Gare des Bodens aus, also derjenige Zustand, in dem das Land in chemischer, physikalischer und biologischer Hinsicht die günstigste Beschaffenheit aufweist.

Der Reichtum des Bodens beruht fast immer vorwiegend in seinem Gehalte an Humus. Durch Dünguug mit humusliefernden Stoffen (Stallmist, Eründüngung) ist für angemessenen Ersatz zu sorgen. Auf armem Boden ist die Vermehrung des Humus-Vorrates von größter Bedeutung.

Die Tätigkeit des Bodens gründet sich auf chemische, physikalische und biologische Vorgänge. Je höher die Fruchtbarkeit des Bodens ist, umso reicher ist das Leben auf und in ihm. Eine große und vielgestaltige Schar von niederen Pflanzen und Tieren ist in unseren Äckern tätig. Insgesamt enthält ein Hektar Ackerland an lebender Masse nicht selten 1000 kg und mehr. Sowohl der Menge wie namentlich der Leistungsfähigkeit nach nehmen die Boden-Bakterien in dieser Lebensgemeinschaft in der Regel den ersten Platz ein.

Für die Aufschließung der im Boden vorhandenen Nährstoff-Vorräte sowie für die Wirkung vieler, insbesondere aller organischer Düngemittel ist die Tätigkeit der Erd-Organismen von großer, z. T. von geradezu ausschlaggebender Bedeutung. Die Ursachen der oft so ungleichen Wirkung des Stallmistes, des Gründüngers und zahlreicher Düngemittel des Handels sind zu einem großen Teile in der ungleichen Tätigkeit der verschiedenen Böden, vor allem in der differenten Wirksamkeit der Boden-Bakterien zu suchen. Ist der Boden von Haus aus reich, so ist die Förderung des Lebens in ihm gleichbedeutend mit einer Erhöhung seiner Fruchtbarkeit.

Wir können auf das Leben im Boden direkt und indirekt einwirken. Direkt durch Zuführung erwünschter und

durch Abtötung unerwünschter Organismen, d. h. durch Impfung und durch partielle Sterilisation des Bodens. Indirekt durch vorteilhafte Änderung der Existenz-Bedingungen, d. h. durch Bearbeitung, Düngung und Nutzung des Bodens. Auch wenn in Zukunft die direkten Maßnahmen weit mehr ausgebaut sein werden, als dies heute der Fall ist, so werden gleichwohl im allgemeinen die indirekten Maßnahmen, wie bisher, von der größten Bedeutung sein. Denn die Schaffung günstiger Existenz-Bedingungen ist stets die erste und unerläßliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Tätigkeit der nützlichen Boden-Bewohner.

Hieraus folgt, daß das Leben im Boden in seiner Gesamtheit, in seinen mannigfachen Abhängigkeiten und Wechsel-Wirkungen eingehend erforscht werden muß. Denn auch in diesem Falle ist ohne gründliche und umfassende Kenntnisse ein zielbewußtes Handeln nicht möglich. Einseitige Erörterungen, wie sie namentlich hinsichtlich der Bedeutung der Stickstoff-Bindung im Boden oft gepflogen worden sind, führen nur allzu leicht zu gänzlich unzutreffenden Vorstellungen. Je nach dem gerade eingenommenen Standpunkte kommt es zu Unter- oder Überschätzungen. Auf Grund von physiologischen Experimenten stand es indessen schon längst fest, daß die Stickstoffbindung in den Knöllchen der Leguminosen-Wurzeln leicht 5 bis 10 mal so große Stickstoffgewinne liefert, als von der Stickstoffbindung im Boden erwartet werden dürfen. Je nach der Menge des verfügbaren Humus kann hier mit einem Gewinn von rund 10—40 kg pro ha und Jahr gerechnet werden. Die Ergebnisse einer Reihe von Feld-Versuchen stehen hiermit durchaus in Einklang.

Zur Bereicherung des leichten Bodens an Humus und an Stickstoff kann der Anbau schmetterlingsblütiger Gewächse (als Futter oder zur Gründüngung) die größten Dienste leisten. Der Stallmist ist außer als Humuslieferant speziell durch seinen Keimreichtum von besonderem Werte. Namentlich in Verbindung mit der Gründüngung kann er als Impfstoff von Nutzen sein.

Auch auf schwerem Boden kann der Anbau schmetterlingsblütiger Gewächse den Stickstoff-Vorrat im Boden erhöhen. Nur dann scheint diese vorteilhafte Wirkung auszubleiben, wenn der Boden an löslichem Stickstoff besonders reich ist. Mit der im Boden selbst verlaufenden Stickstoffbindung verhält es sich allem Anscheine nach ebenso. Der Humus-Stickstoff wirkt auf die Stickstoffbindung nicht nachteilig ein.

Für die Fruchtbarkeit des schweren, reichen Bodens ist eine angemessene Förderung seiner Tätigkeit von großer Bedeutung. Düngung mit organischen Stoffen (Stallmist oder Gründüngung), Kalkung, Tiefkultur, eventuell Bodenfräsung, Hackkultur und eine den Verhältnissen angepaßte Fruchtfolge sind diejenigen Mittel, die in der Regel eine möglichst hohe Ausnutzung der Bodenfruchtbarkeit gewährleisten. Die Brache ist auf schweren, wenig tätigen Äckern dann am Platze, wenn sich die notwendige Gare des Bodens in anderer Weise nicht herbeiführen läßt und infolgedessen die Ernten keinen angemessenen Reinertrag liefern.

Stickstoff-Abbau und Stickstoff-Bindung verlaufen in einem Felde, für das die Brache am Platze war, nicht anders als in jedem garen Boden. Es sind deshalb weder übertriebene Hoffnungen auf außergewöhnlich große Stickstoffgewinne gerechtfertigt, noch kann von einem „forcierten Raubbau" an Boden-Stickstoff gesprochen werden. Sogenannte Brache-Versuche in Gefäßen, auf Sand, mildem Lehm, guter Gartenerde u. dgl. können nur zu irrigen Schlüssen führen. Eine Kultur-Maßnahme, die lediglich für schwere Böden in ungünstiger klimatischer Lage bestimmt ist, kann allein unter solchen Bedingungen auf ihren Wert geprüft werden.

Die durch Herbeiführung der Gare mögliche Ausnutzung des Boden-Reichtums kann — entgegen dem so lautenden Schlagworte — nicht als „Raubbau" bezeichnet werden. Ein Ersatz der ausgeführten Nährstoffe ist immer nur so weit am Platze, als er sich bezahlt macht. Jede darüber hinausgehende, der „Raubbau"-Theorie Rechnung tragende Düngung

wäre als Verschwendung zu bezeichnen; der stets zum Abbau gelangende Boden-Stickstoff würde nur, statt den Ernten zugute zu kommen, durch die Sickerwässer fortgeführt werden.

Da die Tätigkeit der Stickstoff bindenden Bakterien in den Wurzeln der Leguminosen und im Boden dann besonders lebhaft wird, wenn der Gehalt der Erde an löslichem Stickstoff gering ist oder gering wird, so eröffnet sich durch rationelle Ausnutzung der Wirksamkeit dieser Bakterien ein Weg, den Stickstoffbedarf in der Wirtschaft selbst unter Aufwendung verhältnismäßig geringer Kosten fast oder vollständig zu decken.

Die sichersten und am meisten Gewinn bringenden Ernten werden am allerersten dann erzielt, wenn nicht nur für eine ausreichende Düngung, sondern vor allem stets für eine möglichst vollkommene Gare des Bodens Sorge getragen, d. h. den Geboten einer rationellen Boden-Hygiene entsprochen wird.

* * *

Zum Schlusse erwächst mir nun noch, wie bereits im Vorworte angedeutet wurde, die wenig angenehme Aufgabe, auf gewisse in der 2. Auflage von Th. Pfeiffers Schrift über „Stickstoffsammelnde Bakterien, Brache und Raubbau“ enthaltene Darlegungen die nötige Antwort zu erteilen. Da die betreffenden Ausführungen vorwiegend den Charakter persönlich gehaltener Angriffe tragen, so müssen sie wohl oder übel in entsprechender Weise zurückgewiesen werden. Daß dies — entgegen den Gepflogenheiten wissenschaftlicher Polemik — hier im Anschluß an eine besondere Schrift geschieht, ist nicht meine Schuld. Auch in dieser Hinsicht muß ich dem von meinem Gegner bevorzugten Verfahren folgen.

Herr Pf. nennt die betreffenden Darlegungen eine „Abwehr irreführender Angriffe“. Schon diese Angabe weicht sehr weit ab vom wirklichen Sachverhalt, der der folgende ist.

Im Sommer 1904 erschien die 1. Auflage der in Rede stehenden Schrift. Gerade die wichtigsten der darin aufgestellten Thesen vermochte ich als zutreffend nicht anzuerkennen. In Nr. 98 der Deutschen landwirtschaftlichen Presse (1904) veröffentlichte ich meine abweichenden Ansichten. Insbesondere wies ich schon damals zahlenmäßig nach, daß die Beweisführung Pf.s den vorliegenden Tatsachen oft nicht gerecht wurde.

Die Antwort hierauf erschien im Jahre 1906[1]), und zwar in Gestalt von Angriffen persönlicher Art. Gleichwohl erwiderte ich[2]) nochmals streng sachlich und brachte weiteres Zahlenmaterial bei, das noch mehr zu ungunsten der gegnerischen Ansicht sprach. In einem dieser Arbeit beigefügten „Schlußwort" erklärte sich Herr Pf. ohne Angabe eines Grundes für nicht überzeugt; ein nochmaliges Eingehen auf die verschiedenen Fragen erschien ihm indessen „zwecklos". Im Jahre 1909 kam ich in Fühlings landwirtschaftlicher Zeitung (S. 425) auf das Thema zurück, nachdem hier wieder zuvor von der anderen Seite die strittigen Fragen diskutiert worden waren. Schließlich hatte ich in meinem im Frühjahr 1910 erschienenen „Handbuch der landwirtschaftlichen Bakteriologie" gelegentlich der Behauptungen Pf.s zu gedenken. Dabei mußte ich allerdings auch bereits bemerken, daß manche dieser Angaben „außerhalb des Bereiches wissenschaftlicher Kritik" liegen[3]).

Eine sachliche Widerlegung meiner Einwendungen ist also nie erfolgt. Das war auch nach der Art ihrer Begründung nicht möglich. Statt dessen hielt und hält es Pf. für angebracht, durch immer gesteigerte beleidigende Ausfälle gegen die Person seines Gegners die Aufmerksamkeit seiner Leser von dem wahren Sachverhalt nach Möglichkeit abzulenken. Die oben angeführten 1904, 1907 und 1909 veröffentlichten zahlenmäßigen Nachweise darüber, daß gerade die wichtigsten der s. Z. von Pf. aufgestellten und 1912 (in der 2. Auflage der betreffenden Schrift) fast unverändert wiederholten Thesen nicht richtig sind, werden vollkommen totgeschwiegen. Und man mag selbst hiernach entscheiden, wie es gemeint ist, wenn Pf. seine „Abwehr" mit den Worten schließt, er sei für eine sachliche Kritik „stets dankbar".

Sehr charakteristisch ist es, wie Pf. in dieser „Abwehr" Punkte, die mit den von mir beanstandeten Thesen nur in sehr losem Zusammenhange stehen, in den Vordergrund rückt, um daran seine persönlichen Beleidigungen anknüpfen zu können.

Zunächst wird da von der Exaktheit und dem Werte der Erdstickstoff-Bestimmungen gesprochen. Ich habe s. Z. erklärt, daß ich Pf. nicht folgen könne, wenn er alle für eine Stickstoffbindung im Boden

---

[1]) Mitt. d. landw. Instit. Breslau, Bd. 3, S. 919—922.

[2]) Ebenda, Bd. 4, 1907, S. 39—45.

[3]) Speziell mußte dies (a. a. O. S. 692) gesagt werden in bezug auf die S. 45 der vorliegenden Schrift erwähnte (sicherlich bewußt) irreführende Behauptung Pf.s, der zufolge Erdstickstoff-Bestimmungen „ein vorzügliches Beweismaterial" zu gunsten seiner Ansicht (von der Bedeutungslosigkeit der Stickstoff bindenden Bodenbakterien) darstellen sollen.

sprechenden Befunde als höchst zweifelhaft hinzustellen suche. Manche von diesen Analysen-Ergebnissen lagen unverkennbar außerhalb der Fehlergrenzen. Wenn Pf. jetzt schreibt, er habe s. Z. vor einer Überschätzung des praktischen Wertes derartiger Stickstoff-Bestimmungen gewarnt, ich aber hätte geglaubt, dieser Warnung meine Zustimmung vorenthalten zu müssen, so ist es mir persönlich kaum zweifelhaft, daß hier eine wissentliche Unwahrheit von Pf.s Seite vorliegt. Niemals bin ich für eine Überschätzung des praktischen Wertes von Erdstickstoff-Bestimmungen eingetreten, vielmehr schrieb ich bereits 1905[1]): „Die im kleinen (in Vegetations-Gefäßen usw.) ausgeführten Experimente liefern, wie Pfeiffer mit Recht betont, keine praktisch verwertbaren Zahlen." Aus dieser meiner Ansicht von dem relativ geringen Werte und der geringen Genauigkeit von Gesamtstickstoff-Bestimmungen im Boden erklärt es sich eben auch, daß und weshalb ich die später von Pf. selbst erlangten, für eine sehr starke Stickstoffbindung sprechenden Befunde als „nicht einwandfrei" bezeichnete. Wenn aber Herr Pf. hieraus folgert, ich hätte damit im Gegensatze zu meinem früheren Standpunkte gemeint, sie seien „höchst zweifelhaft", so mutet er seinen Lesern zu, sie sollen ihm glauben, er wisse nicht, daß die (von mir gebrauchten) Ausdrücke „nicht exakt nachweisbar", „nicht einwandfrei" etwas ganz anderes besagen als „höchst zweifelhaft".

In weiteren Ausführungen, die den eigenartig „kollegialen" Ton des Herrn Pf. besonders gut zum Ausdruck kommen lassen, wird sodann die Behauptung P. Ehrenbergs wiederholt, mein Wunsch, die Erdstickstoff-Analysen durch Kohlenstoff-Bestimmungen zu ergänzen, sei von vornherein abzulehnen, weil diese viel zu unsicher seien. Ich glaube in der Annahme nicht fehl zu gehen, daß Pf. (namentlich aus Lemmermanns Arbeiten) hinreichend unterrichtet war, daß dem nicht so ist. Und daß 100mal so große Schwankungen im Kohlenstoff-Gehalte nicht schwieriger nachzuweisen sind als die soviel kleineren Änderungen im Stickstoff-Gehalt des Bodens, dürfte nicht nur „einem jungen Chemiker" verständlich sein.

Daß fernerhin Hellriegel die Stickstoffbindung der Leguminosen nicht mit Hilfe „einfacher Bodenstickstoff-Bestimmungen" nachgewiesen hat, weiß Pf. (trotz seiner gegenteiligen Behauptung) natürlich ganz genau. Und ebenso ist er vollkommen darüber orientiert, daß er sich einer groben Unwahrheit bedient, indem er mich durch den nochmaligen Gebrauch der törichten Phrase von der „allein seligmachenden Bakteriologie" lächerlich zu machen sucht[2]). Hellriegel war vorurteilslos genug, von

[1]) Mitt. d. landw. Instit. Leipzig, Heft 7, S. 78.

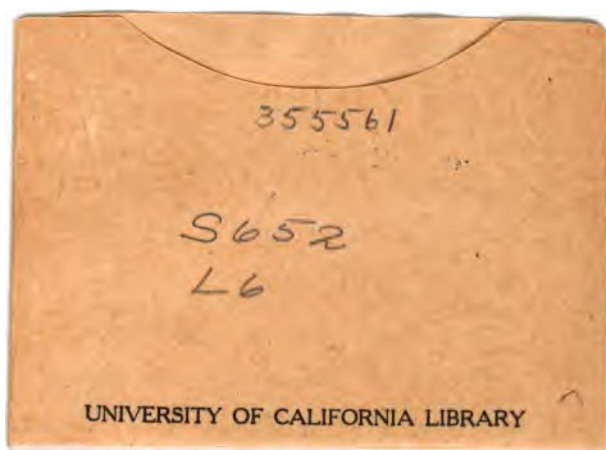
[2]) Vergl. hierzu Mitt. d. landw. Instit. Breslau, Bd. 4, 1907, S. 45.

der agrikultur-chemischen Arbeitsweise abzugehen, als er sah, daß er es mit einem bakteriologischen Problem zu tun hatte. Seine Sterilisations- und Impfversuche führten ihn zu jenen schönen Ergebnissen, die eine „Großtat" der Agrikultur-Bakteriologie (nicht der Agrikultur-Chemie) sind und bleiben werden.

Schließlich stellt Herr Pf. noch seine Ansichten über die Denitrifikations-Frage denjenigen Sätzen gegenüber, mit denen ich sie in meinem Handbuch gekennzeichnet habe. Mit Hilfe geschickt gewählter Begleitworte (in Pf.s Ausdrucksweise: mit Hilfe einer „wunderbaren Dialektik") versucht er wiederum, meine Darlegungen als irreführend zu verdächtigen. Ich kann jeden unparteiischen Leser nur bitten, lediglich einmal die betreffenden Sätze aus der Denitrifikations-Arbeit Pf.s und deren Wiedergabe in meinem Handbuch unmittelbar nacheinander zu lesen, ohne zunächst auf die in Pf.s „Abwehr" beigefügten Vor-, Zwischen- und Nachsätze Rücksicht zu nehmen. Besonders der direkte Vergleich dessen, was von Pf. selbst auf S. 10 oben und S. 11 oben abgedruckt wurde, zeigt am deutlichsten, was von den diskreditierenden Bemerkungen Pf.s auch in diesem Falle zu halten ist.

Herr Pf. kommt zu dem Ergebnis, daß ich mich ihm gegenüber eines „außerordentlich weitgehenden Mangels an Objektivität schuldig gemacht" und aus der Reihe der „ernsthaft zu nehmenden Gegner vollständig auszuscheiden" habe. Wie ich zeigen mußte, konnte er dieses Ziel nur dadurch erreichen, daß er mehrfach zu offensichtlich unwahren Behauptungen seine Zuflucht nahm. —

Jene Schlagworte vom „Raubbau", von der Schädlichkeit der Brache, von der Bedeutungslosigkeit der Stickstoff bindenden Bakterien usw. werden nicht richtiger, so oft sie auch wiederholt werden mögen. Und die entgegenstehenden Tatsachen lassen sich nicht dadurch aus der Welt schaffen, daß man sie nach Möglichkeit in Vergessenheit und jeden, der für sie eintritt, in Mißkredit zu bringen sucht.


355561
S652
L6
UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY